

Tiina Hartman

MENETELMÄ VAARALLISTEN
AINEIDEN
MAANTIEKULJETUSTEN
YMPÄRISTÖRISKIKOHTTEIDEN
ARVIOINTIIN

Opinnäytetyö
YAMK, Kestävä yhdyskunta


Kesäkuu 2012




MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU

Mikkeli University of Applied Sciences

KUVAILULEHTI

 MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences		Opinnäytetyön päivämäärä 10.6.2012
Tekijä(t) Tiina Hartman	Koulutusohjelma ja suuntautuminen YAMK, Kestävä yhdyskunta	
Nimeke Menetelmä vaarallisten aineiden maantiekuljetusten ympäristöriskikohteiden arviointiin		
Tiivistelmä <p>Tässä työssä laadittiin vaarallisten aineiden kuljetusten -suunnittelutyökalun (VAKSU) mukainen riskiluokitus Kainuun maakunnan tiestölle. VAKSU on paikkatietopohjainen työkalu vaarallisten aineiden kuljetusten ympäristöriskien hallintaan. VAKSU-työkalu kehitettiin vuosituhannen vaihteessa EU Life -hankkeessa, mutta järjestelmää ei ole otettu laajasti käyttöön. VAKSU-luokituksessa tiestön- ja rautaties- tön maaperä jaetaan kolmeen riskiluokkaan maaperän vedenläpäisevyyden ja pohjaveden pinnankor- keuden mukaan, lisäksi luokituksessa on avovesiluokka. Luokassa A maaperä on hyvin vettä läpäisevä, luokassa B puoliläpäisevä ja luokassa C vettä läpäisemätön.</p> <p>Kainuun maakunnan alueella luokiteltiin yhteensä 870 kilometriä tiestön välitöntä ympäristöä. Luokkaan A luokiteltiin noin 55 kilometriä, luokkaan B noin 540 km, luokkaan C noin 167 km ja avovesiluokkaan, W, noin 105 km. Maaperän riskiluokittelu aloitettiin alustavalla maaperäkartoituksella, jossa yhdistettiin olemassa olevia paikkatietoaineistoja. Aineistoa tarkennettiin maastokartoituksilla, joissa tehtiin maape- räkartoitusta sekä havainnointiin pienkalliopaljastumia ja avovesialueita. Maatutkaluotauksilla tarken- nettiin olemassa olevaa tietoa kolmen I-luokan pohjavesialueen hydrogeologisista olosuhteista. Maatut- kaluotaustuloksia tarkennettiin referenssikairauksin. Kainuun VAKSU-aineisto saatettiin osaksi Kainuun pelastuslaitoksen PEKE-johtamisjärjestelmää.</p> <p>”Menetelmä vaarallisten aineiden maantiekuljetusten ympäristöriskikohteiden arviointiin” työ on osa Euroopan aluekehitysrahastosta (EAKR) rahoitettua hanketta ”Työkalu kemikaaliturvallisuuteen liitty- vään riskien arviointiin”, jossa valvovana viranomaisena oli Kainuu elinkeino-, liikenne- ja ympäristö- keskus ja osarahoittajina Kainuun pelastuslaitos, Geologian tutkimuskeskus, Kaisanet Oy, Morenia Oy sekä Kainuun Etu Oy. Hankkeen toteuttaja oli Kainuun Etu Oy.</p>		
Asiasanat (avainsanat) vaarallisten aineiden kuljetukset, riskienarviointi, maaperä, pohjavesi, VAKSU		
Sivumäärä 55	Kieli suomi	URN http://www.urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2012061312604
Huomautus (huomautukset liitteistä)		
Ohjaavan opettajan nimi Pia Haapea, TL	Opinnäytetyön toimeksiantaja Kainuun Etu Oy	

DESCRIPTION

 <p>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences</p>		Date of the master's thesis 10 th June 2012
Author(s) Tiina Hartman	Degree programme and option Master of Engineering	
Name of the master's thesis Method for Assessment of Risk Locations of Transportation of Dangerous Goods on Roads		
Abstract <p>The aim of this thesis was to create a tool for risk assessment of transportation of dangerous goods on roads in the Kainuu Region. The basis of the tool is VAKSU – spatial information tool for risk assessment of transportation of dangerous goods in roads and railways created in a Life project for Southern Finland. In VAKSU the soil is classified according to the water permeability of the soil and to the ground water level; also open water is included into the classification. In class A the soil is very permeable, in class B semi-permeable, and in class C non-permeable.</p> <p>In the Kainuu Region 870 kilometres of roadsides were classified: 55 kilometres for class A; 540 km for class B; 167 km for class C; and 105 km for open water, W. The risk classification was begun with preliminary soil mapping combining all the existing spatial data sources. The data was improved by field surveys including soil mapping and by observing small bedrock formations and open waters. Ground penetrating radar (GPR) was used in three first level ground water areas to have more specific information on the geohydrological circumstances. The results of GPR were verified with reference drillings. The produced spatial risk information data was included into the operational management system of Kainuu Rescue Department.</p> <p>This thesis 'Method for Assessment of Risk Locations of Transportation of Dangerous Goods on Roads' is part of a project 'Risk Assessment Tool for Chemical Safety' funded by the ERDF. The responsible authority of the project was Kainuu Centre for Economic Development, Transport and the Environment, and it was co-financed by Kainuu Rescue Department, Geological Survey of Finland, Kaisanet Oy, Morenia Oy, and Kainuun Etu Oy. Project is managed by Kainuun Etu Oy.</p>		
Subject headings, (keywords) Transportation of dangerous goods, risk assessment, soil, ground water		
Pages 55	Language Finnish	URN http://www.urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2012061312604
Remarks, notes on appendices		
Tutor Lic. Tech. Pia Haapea	Master's thesis assigned by Kainuun Etu Oy	

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	1
2	VAARALLISET AINEET	3
2.1	Luokittelu.....	3
2.2	Aineiden ympäristökäyttäytyminen	5
2.3	Maaperän vaikutus aineiden ympäristökäyttäytymiseen	9
2.4	Case: Bensiinin ja kevyen polttoöljyn ympäristökäyttäytyminen	13
3	VAARALLISTEN AINEIDEN MAANTIEKULJETUKSET SUOMESSA.....	15
3.1	Lainsäädäntö	15
3.2	Kansallinen VAK-strategia.....	17
3.3	Kuljetusmäärät	19
3.4	Kuljetusonnettomuudet.....	21
4	YMPÄRISTÖRISKIN ARVIOINTI.....	22
4.1	Riskin määrittely.....	22
4.2	Vaarallisten aineiden kuljetusten suunnittelutyökalu, VAKSU	24
5	VAARALLISTEN AINEIDEN MAANTIEKULJETUSTEN YMPÄRISTÖOLOSUHTEET KAINUUSSA.....	28
5.1	Kainuun maakunta	28
5.2	Kainuun kaivannaisteollisuus	29
5.3	Kainuun maaperä	30
5.4	Kainuun pohjavesimuodostumat	32
5.4.1	Yleistä	32
5.4.2	Case: Matinmäki-Mustikkamäki, Kajaani	33
5.5	Kainuun vesistöt	36
6	MENETELMÄT	38
6.1	Maaperäkartoitus	38
6.2	Maaperän geofysikaaliset tutkimukset	39
6.3	Maaperäkairaukset ja pohjaveden havaintoputkien asentaminen.....	41
6.4	Paikkatietotyökalun rakentaminen.....	42
7	TULOKSET	43
7.1	Kainuun VAKSU-luokitus.....	43
7.2	Paikkatietotyökalu	44

8	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA.....	46
	LÄHTEET.....	48

1 JOHDANTO

Kainuun maakunnan alueella kaivostoiminta on viime vuosina lisääntynyt merkittävästi. Kaivostoiminnan lisääntymisen myötä Kainuun maanteillä liikkuu yhä enemmän vaarallisia aineita. Vaarallisella aineella tarkoitetaan ainetta, joka räjähdys-, palotai säteilyvaarallisuutensa, myrkyllisyytensä, syövyttävyytensä taikka muun sellaisen ominaisuutensa vuoksi saattaa aiheuttaa vahinkoa ihmisille, ympäristölle tai omaisuudelle. (Häkkinen 2009, 7.) Verrattuna muihin materiaaleihin, vaarallisiin kemikaaleihin liittyy niille ominainen potentiaalinen vuotoriski kuljetusten aikana. Onnettomuusriski kuljetusten aikana on kuitenkin alhainen, mutta onnettomuuden sattuessa vaikutukset ovat erittäin haitallisia. (Zhang ja Zhao 2007, 117.)

Kemikaalin jouduttua ympäristöön se kulkeutuu ja muuttuu. Näitä prosesseja nimitetään ympäristökäyttäytymiseksi. (U.S. Environmental Protection Agency, 5-21.) Akkasen (2010) mukaan kemikaalien ympäristökäyttäytymistä ohjaavat kemikaalin ja ympäristön ominaisuudet. Aineen kulkeutuminen maassa, vedessä ja ilmassa, sekä näiden välillä, riippuu aineen fysikaalisista ja kemiallisista ominaisuuksista. Kulkeutumiseen vaikuttavat aineen adsorboituminen maa-ainekseen tai sedimenttiin, vesiliukoisuus, rasvahakuisuus sekä haihtuvuus. (Leinonen 2009.)

Vaarallisten Aineiden Kuljetusten Suunnittelu -järjestelmä (VAKSU) on paikkatietopohjainen työkalu vaarallisten aineiden kuljetusten ympäristöriskien hallintaan. VAKSUssa tie- ja rataosuudet on jaettu maaperän läpäisevyyden perusteella riskiluokkiin, joiden mukaisesti pelastustoimi voi valita sopivat ensitorjuntatoimenpiteet kullekin mahdolliselle onnettomuuspaikalle. VAKSU kehitettiin vuosituhannen vaihteessa useiden yhteistyötahojen yhteisessä EU Life -hankkeessa, mutta järjestelmää ei otettu laajasti käyttöön. (Gilbert ym. 2009, 14.) Alkuvuonna 2005 selvitettiin Liikenne- ja viestintäministeriön toimesta VAKSUn laajemman käyttöönoton edellytyksiä. Kehitysselvityksen mukaan VAKSUn käyttämättömyys johtui potentiaalisten käyttäjien järjestelmää koskevan tiedon puutteesta sekä osin työkalun käyttöliittymän ja teknisen toteutuksen asettamista käyttöhaasteista. (mts., 84 - 85.)

Tässä opinnäytetyössä laadittiin tieliikenteen vaarallisten aineiden kuljetusten suunnittelutyökalun, VAKSUn, mukainen riskiluokittelu Kainuun maakunnan alueen maantieverkostolle Kainuun pelastuslaitoksen käyttöön. Työn toimeksiantaja oli Kainuun

Etu Oy. Tämä opinnäytetyö ”Menetelmä vaarallisten aineiden maantiekuljetusten ympäristöriskikohteiden arviointiin” on osa Euroopan aluekehitysrahastosta (EAKR) rahoitettua hanketta ”Työkalu kemikaaliturvallisuuteen liittyvään riskien arviointiin”, jossa valvovana viranomaisena oli Kainuu elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus ja osarahoittajina Kainuun pelastuslaitos, Geologian tutkimuskeskus, Kaisanet Oy, Morenia Oy sekä Kainuun Etu Oy.

2 VAARALLISET AINEET

2.1 Luokittelu

Häkkinen (2009, 7) mukaan vaarallisella aineella tarkoitetaan ainetta, joka räjähdys-, palo- tai säteilyvaarallisuutensa, myrkyllisyytensä, syövyttävyytensä taikka muun sellaisen ominaisuutensa vuoksi saattaa aiheuttaa vahinkoa ihmisille, ympäristölle tai omaisuudelle. Valtioneuvosto on antanut vuonna 2002 asetuksen (194) vaarallisten aineiden kuljetuksesta tiellä, jossa säädetään vaarallisten aineiden tiekuljetuksesta silloin, kun se alkaa, suoritetaan ja päättyy Suomessa. Asetuksen 5 §:n mukaan vaaralliset aineet luokitellaan yhdeksään eri luokkaan (taulukko 1).

TAULUKKO 1. Vaarallisten aineiden luokitus (Valtioneuvoston asetus 194/2002).

Luokka	Kuvaus
Luokka 1	Räjähteet
Luokka 2	Kaasut
Luokka 3	Palavat nesteet
Luokka 4.1	Helposti syttyvät kiinteät aineet, itsereaktiiviset aineet ja epäherkistetyt kiinteät räjähdysaineet
Luokka 4.2	Helposti itsestään syttyvät aineet
Luokka 4.3	Aineet, jotka veden kanssa kosketukseen joutuessaan kehittävät palavia kaasuja
Luokka 5.1	Sytyttävästi vaikuttavat (hapettavat) aineet
Luokka 5.2	Orgaaniset peroksidit
Luokka 6.1	Myrkylliset aineet
Luokka 6.2	Tartuntavaaralliset aineet
Luokka 7	Radioaktiiviset aineet
Luokka 8	Syövyttävät aineet
Luokka 9	Muut vaaralliset aineet ja esineet

Luokkaan 1 kuuluvat räjähdysaineet, pyrotekniset aineet, näitä aineita sisältävät aineet ja välineet sekä muut aineet ja esineet, jotka on valmistettu tuottamaan räjähdys- tai pyroteknistä ilmiötä. Tyypillisiä luokan 1 kuljetettavia aineita ovat louhintaan käytettävät räjähdysaineet, nallit, sytytysvälineet ja ruuti sekä ilotulitusvälineet. Luokkaan 2 kuuluvat puhtaat kaasut, kaasujen seokset sekä esineet, jotka sisältävät näitä aineita. (Häkkinen 2009, 9.)

Luokkaan 3 kuuluvat varsinaisten palavien nesteiden lisäksi nestemäiset aineet ja sulassa muodossa olevat kiinteät aineet, joiden leimahduspiste on yli 60 °C ja joita kuljetetaan tai annetaan kuljetettavaksi lämmitettyinä vähintään leimahduspistettään vas-

taaviin lämpötiloihin. Luokkaan 3 kuuluvat myös epäherkistetyt nestemäiset räjähdysaineet. Myös dieselöljy, kaasuöljy sekä kevyt ja raskas polttoöljy, joiden leimahduspiste on yli 60 °C, mutta enintään 100 °C, luokitellaan luokkaan 3. (Häkkinen 2009, 9-10.)

Luokkaan 4.1 kuuluvat helposti syttyvät kiinteät aineet, itsereaktiiviset aineet ja epäherkistetyt kiinteät räjähdysaineet. Helposti syttyvät kiinteät aineet ovat helposti palavia kiinteitä aineita sekä kiinteitä aineita, jotka voivat syttyä palamaan kitkan vaikutuksesta. Helposti palavat kiinteät aineet ovat jauhemaisia, rakeisia tai pastamaisia aineita, jotka ovat vaarallisia, jos ne voivat helposti syttyä antamalla sytytyslähteen vaikuttaa niihin lyhyen aikaa ja jos niiden syttyessä liekki leviää nopeasti. Itsereaktiivisten aineiden hajoaminen voi alkaa lämmön, katalyyttisesti vaikuttavien epäpuhtauksien, kitkan tai iskun vaikutuksesta. Hajoamisen seurauksena voi syntyä myrkyllisiä kaasuja tai höyryjä erityisesti silloin, kun ei tapahdu aineen syttymistä. Epäherkistetyt kiinteät räjähdysaineet ovat aineita, jotka on kostutettu vedellä tai alkoholilla tai jotka on laimennettu muilla aineilla siten, että niiden räjähdysominaisuudet on eliminoitu. (Liikenne- ja viestintäministeriön asetus vaarallisten aineiden kuljetuksesta tiellä 369/2011).

Luokkaan 4.2 kuuluvat pyroforiset aineet mukaan lukien seokset ja liuokset (nestemäiset tai kiinteät), jotka jo pieninä ainemäärinä syttyvät ilman vaikutuksesta viidessä minuutissa sekä itsestään kuumenevat aineet ja esineet mukaan lukien seokset ja liuokset, jotka kuumenevat itsestään ilman vaikutuksesta, vaikkei niihin tuoda energiaa. Nämä aineet voivat syttyä vain määrien ollessa suuria (kilogrammoja) ja pitkän ajan (tunteja, vuorokausia) kuluessa. (Liikenne- ja viestintäministeriön asetus vaarallisten aineiden kuljetuksesta tiellä 369/2011).

Luokkaan 4.3 kuuluvat aineet, jotka veden kanssa reagoidessaan kehittävät palavia kaasuja, jotka voivat muodostaa ilman kanssa räjähtäviä seoksia, sekä esineet, jotka sisältävät sellaisia aineita. (Liikenne- ja viestintäministeriön asetus vaarallisten aineiden kuljetuksesta tiellä 369/2011).

Luokkaan 5.1 kuuluvat aineet, jotka siitä huolimatta, etteivät itse välttämättä ole palavia, voivat yleensä niistä vapautuvasta hapesta johtuen aiheuttaa tai edistää muiden materiaalien palamista. Luokkaan 6.1 kuuluvat ne aineet, joista kokemuksen perus-

teella tiedetään tai eläinkokeiden perusteella voidaan olettaa, että ne suhteellisen pieninä määrinä ihmisen elimistöön joutuessaan joko hengitettynä, ihon kautta imeytyessään tai nieltynä voivat aiheuttaa vahinkoa ihmisen terveydelle tai kuoleman. Luokkaan 6.2 kuuluvat aineet, joiden tiedetään tai kohtuullisella varmuudella oletetaan sisältävän eläimiin tai ihmisiin sairautta tartuttavia taudinaiheuttajia. (Häkkinen 2009, 11.)

Luokkaan 7 kuuluvat ne lähetykset, joiden sisältönä on radioaktiivista ainetta tai joissa pakkaus sisältää näistä kontaminoituneita tai aktivoituneita kiinteitä aineita, nesteitä tai kaasuja. Radioaktiivinen aine tarkoittaa radionuklideja sisältävää ainetta, jonka aktiivisuuspitoisuus ja kokonaisaktiivisuus lähetyksessä ylittää ministeriön asetuksessa määritellyt rajat. Luokkaan 8 kuuluvat aineet, jotka kemiallisesti vaikuttavat ihon tai limakalvon epiteelikudokseen, sekä aineet ja esineet, jotka pakkauksesta ulos päästessään voivat vahingoittaa tai tuhota muita tavaroita tai kuljetusvälineitä. Tähän luokkaan kuuluvat myös aineet, jotka vasta veden kanssa muodostavat syövyttäviä liuoksia tai joista vapautuu syövyttävää höyryä tai sumua ilman luonnollisen kosteuden vaikutuksesta. (Häkkinen 2009, 13.)

2.2 Aineiden ympäristökäyttäytyminen

Kemikaalin ympäristökäyttäytyminen kuvaa prosesseja, joiden avulla kemikaalit kulkeutuvat ja muuttuvat ympäristössä. Ympäristökäyttäytymisprosesseja ovat mm. aineen pysyvyys ilmassa, vedessä tai maaperässä, reaktiivisuus ja hajoavuus, kulkeutuminen pohjavedessä sekä bioakkumulaatio vedessä tai maaperässä oleviin organismeihin. (U.S. Environmental Protection Agency, 5-21.) Akkasen (2010) mukaan kemikaalien ympäristökäyttäytymistä ohjaavat kemikaalin ja ympäristön ominaisuudet.

Liukoisuus

Liukenevuudella tarkoitetaan sitä massaa ainetta, joka liukenee tiettyyn tilavuuteen liuosta. Vesiliukoisuus on kemikaalin korkein pitoisuus, joka liukenee puhtaaseen veteen tietyssä referenssilämpötilassa. (EcologyDictionary.) Akkasen (2010) mukaan mitä polaarisempi aine on, sitä vesiliukoisempi se on. Aineen vesiliukoisuuden ollessa yli 1000 mg/l, yhdiste luokitellaan erittäin vesiliukoiseksi ja alle 10 mg/l yhdiste on erittäin niukkaliukoinen. Neyn (1990, 9) mukaan mitä vesiliukoisempi kemikaali on,

sitä todennäköisemmin se liikkuu ympäristössä, ja sitä vähemmän se (bio)akkumuloituu, haihtuu tai on pysyvä.

Höyrinpaine

Nestemäisen aineen höyrinpaine kuvaa haihtuvuutta. Höyrinpaine riippuu voimakkaasti lämpötilasta ja aineen pitoisuudesta liuoksessa. Lämpötilan noustessa höyrinpaine kasvaa ja laskee sitä mukaan kun aineen pitoisuus liuoksessa laskee. (Riihimäki ym. 2005, 42.) Akkasen (2010) mukaan erittäin rasvaliukoiset yhdisteet haihtuvat jossain määrin vedestä vaikka niillä voi olla erittäin alhainen höyrinpaine. Taulukossa 2 on esitetty nestemäisten aineiden höyrinpaineeseen perustuva haihtuvuusryhmittely.

TAULUKKO 2. Nestemäisen aineen höyrinpaineeseen (P_{vp}) perustuva haihtuvuusryhmittely (Riihimäki ym. 2005, 149).

Höyrinpaine, P_{vp} (Pa), (20 - 25 °C)	Ryhmittely
>100	erittäin haihtuva
1-100	haihtuva
0,01-1	kohtalaisen haihtuva
0,0001-0,01	heikosti haihtuva
<0,0001	hyvin heikosti haihtuva

Paineen vaikutusta kaasun liukoisuuteen käsittelee Henryn laki. Liuenneen kaasun määrä on suoraan verrannollinen kaasun osapaineeseen liuoksen ulkopuolella:

$$c_A = k \times p_A, \quad (1)$$

missä c_A = kaasun konsentraatio liuoksessa (mol/dm^3), p_A = kaasun osapaine liuoksen yläpuolella (kPa) ja k = lämpötilasta riippuva, kullekin kaasu-nesteparille ominainen vakio (ns. Henryn vakio) ($\text{mol/dm}^3\text{kPa}$). (Laitinen ja Toivonen 1990, 145).

Hajoavuus

Leinosen (2009) mukaan aineen hajoavuuteen vaikuttavat kemikaalin ominaisuudet, hajottava mikrobipopulaatio sekä ympäristön fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet. Hajoavuutta hidastavia tekijöitä ovat kemikaalin myrkyllisyys mikrobeille, kemikaalin alhainen tai vaihteleva pitoisuus, joutuminen syvälle maahan sekä pohjoinen sijainti, johon liittyvät matala lämpötila, happamuus, vesien ja maaperän niukka ravinnesisältö ja siihen sopeutuneet mikrobit sekä metsämaan ohut orgaaninen kerros.

Aineiden katsotaan olevan nopeasti hajoavia, jos ne täyttävät seuraavat kriteerit:

- a) Jos 28 vuorokauden aikana biologista hajoavuutta mittaavassa kokeessa saavutetaan seuraavat hajoavuustasot:
 - liuenneen orgaanisen hiilen määrän mittaamiseen perustuvissa kokeissa: 70 %;
 - hapen kulutuksen tai hiilidioksidin tuotannon mittaamiseen perustuvissa kokeissa: 60 % teoreettisesta maksimista.

Nämä biologisen hajoavuuden tasot on saavutettava 10 vuorokauden kuluessa hajoamisen alkamisesta, joksi katsotaan hetki, jolloin 10 % aineesta on hajonnut.
- b) Jos, niissä tapauksissa, joissa on käytettävissä ainoastaan COD (kemiallinen hapenkulutus) ja BOD₅ (biologinen hapenkulutus viiden vuorokauden aikana), BOD₅/COD -suhde on suurempi tai yhtä suuri kuin 0,5.
- c) Jos käytettävissä on muuta vakuuttavaa tieteellistä näyttöä, joka osoittaa, että aine voi hajota (bioottisesti tai abioottisesti). (Suomen ympäristökeskus 2009.)

Kertyvyys

Leinosen (2009) mukaan orgaaniset ionisoitumattomat aineet voivat kertyä eliön rasvakudokseen. Tietyt aineet kuten metalli-ionit ja metyylielohopea sitoutuvat kalan proteiineihin. Aineet voivat kertyä suoraan vedestä, jolloin eliössä olevan pitoisuuden ja vedessä olevan pitoisuuden suhde pyrkii tasapainotilaan. Aineen kertymiseen suoraan vedestä vaikuttaa myös aineen otto- ja poistumisnopeuden erotus. Aine voi kertyä eliöön epäsuorasti ravinnon kautta, jolloin puhutaan biomagnifikaatiosta eli rikastumisesta ravintoketjussa.

Orgaanisille ionisoitumattomille aineille kertymistä kuvataan oktanoli-vesi-jakautumiskerroimella ($\log K_{ow}$ tai P_{ow}), jolla tarkoitetaan aineen pitoisuusjakaumaa oktanolin ja veden muodostamassa kaksifaasisessa seoksessa. Jakautumiskerroin kuvaa aineen rasvaliukoisuutta. Käytetyn oktanolin poolisuus vastaa eläinrasvoja, jolloin on mahdollista molekyyliarakenteen perusteella laskennallisesti määrittää aineen rasvaliukoisuus. (Leinonen 2009.)

Aineet ovat kertyviä, jos oktanoli-vesi-jakaantumiskerroin on ≥ 1000 eli $\log Pow \geq 3,0$, ellei kokeellisesti määritetty biokonsentraatiotekijä kalalle (BCF) ole ≤ 100 (Suomen ympäristökeskus 2009).

Huuhtoutuminen maaperässä

Kemikaalin kulkeutumista alaspäin maaperässä veden avulla kutsutaan huuhtoutumiseksi (*leaching*). Huuhtoutumisesta voi aiheutua pohjaveden pilaantumista, mikäli kemikaali kulkeutuu pohjaveteen asti. Useat kemikaalin fysikaalis-kemialliset ominaisuudet sekä ympäristötekijät tekijät vaikuttavat kemikaalin kulkeutumiseen maaperässä: vesiliukoisuus, biohajoavuus, hydrolyysi, dissosiaatio, sorptio, haihtuvuus, sademäärä ja evapotranspiraatio. (Ney 1990, 22.)

Adsorptio eli kiinnittyvyys

Aineen adsorptio maaperään tai sedimenttiin kuvaavat adsorptiokertoimet K_d (jakaantumiskerroin veden ja kiinteän aineksen välillä) ja K_{oc} (jakaantumiskerroin veden ja orgaanisen hiilen välillä). Näiden kertoimien avulla voidaan arvioida aineen kulkeutumista maaperässä (taulukko 3). (Riihimäki ym. 2005, 63.)

TAULUKKO 3. Kulkeutuvuus maassa (Riihimäki ym. 2005, 149).

K_{oc}-arvo	K_d-arvo	Ryhmittely
< 50	< 0,75	erittäin kulkeutuva
50 - 150	0,75 - 2,25	helposti kulkeutuva
150 - 500	2,25 - 7,5	kohtalaisen kulkeutuva
500 - 2000	30 - 75	hieman kulkeutuva
2000 - 5000	30 - 75	heikosti kulkeutuva
> 5000	> 75	kulkeutumaton

Hyvin kulkeutuvat aineet ohittavat nopeasti maaperän ohuen, biologisesti aktiivisen ja samalla hajottavan vyöhykkeen, ja voivat päätyä lopulta pohjaveteen. Myös veteen liukenemattomat aineet toivat kulkeutua pohjaveteen saakka. Jotkut aineet voivat muodostaa kiinteitä saostumia tai sitoutua voimakkaasti maa-ainekseen, mikä estää aineen kulkeutumisen. (Riihimäki ym. 2005, 63.)

2.3 Maaperän vaikutus aineiden ympäristökäyttäytymiseen

Suomen maankamara koostuu ikivanhasta peruskalliosta eli kallioperästä ja sitä peittävästä irtaimista maalajeista eli maaperästä. Maapeite ei ole yhtenäinen, vaan kallioperä on paikoin paljastuneena. Maapeitteen paksuus voi olla jopa 100 m, mutta sen keskipaksuus on vain 8,5 m. Suomen maaperä on pääosin syntynyt viimeisimmän jääkauden aikana ja sen jälkeen. Paikoin tavataan viimeistä jääkautta vanhempia jääkauteisia sekä interglasiaalisia ja -stadiaalisia kerrostumia. Niitä tutkimalla on saatu kuva maamme kvartaarikautisesta kehityksestä. (Geologian tutkimuskeskus a.)

Maaperään kuuluu kallioperää maalla ja vesistöjen pohjalla peittävä irtomaakerros, jonka pääosa koostuu murskautuneesta ja hienontuneesta kiviaineksesta eli kivennäismaalajeista. Niitä ovat mm. moreeni, sora, hiekka ja savi. Maaperään kuuluvat lisäksi eloperäisestä aineksesta syntyvät turve ja lieju sekä maaperässä oleva vesi. Maaperä on syntynyt geologisten prosessien, eli rapautumisen sekä mannerjäätikön, virtaavan veden ja tuulen toiminnan, tuloksena. Nykyisessä maaperässä on sekä ennen kvartaarikautta kallioperästä rapautuneita aineksia että moneen kertaan uudelleen kerrostuneita kvartaarikauden kerrostumia. (Geologian tutkimuskeskus a.)

Maalajien geologisen syntyttävän, raakoostumuksen ja humuspitoisuuden perusteella on muodostettu neljä maalajiryhmää: moreenimaalajit, karkearakeiset maalajit, hienorakeiset maalajit ja eloperäiset maalajit. Moreeni- ja karkearakeisia maalajeja kutsutaan myös kitkamaalajeiksi, joissa maalajien lujuus aiheutuu pääasiassa rakeiden välisestä kitkasta, kun taas hienorakeisilla eli koheesiomaalajeilla lujuus aiheutuu enimmäkseen rakeiden välisistä kiinnevoimista, koheesiosta. (Geologian tutkimuskeskus b.)

Maalajit

Moreeni on Suomen yleisin maalaji. Siinä on kaikkia tai useita lähikokoisia lajitteita keskenään sekoittuneena. Moreeni on väriltään harmaata tai harmaanruskeaa ja siinä olevat rakeet ovat särmikkäitä tai vain vähän särmiltään kuluneita. Moreenissa on yleensä kiviä ja lohkareita, joista löytyy jäätikön aiheuttamia uurteita ja hioutumia. Moreenin aines on savilajitteen takia tahraavaa ja kivien pinnat hienoaineksen peittämiä. Runsaasti hienoainesta sisältävä moreeni on kuivana pölyävää. Moreenialueilla

pohjavesi on yleensä lähellä pintaa maalajin huonon vedenläpäisevyyden vuoksi.
(Geologian tutkimuskeskus b.)

Soraa esiintyy yleensä hienoista aineksista puhtaaksi huuhtoutuneissa harju- ja rantamuodostumissa, joissa rakeet ovat pyöristyneitä ja puhdaspintaisia. Soraesiintymät ovat tavallisesti erittäin hyvin läpäiseviä. Hiekkaa tavataan lähinnä harjujen lähistöllä, mutta myös joki- ja rantamuodostumissa. Hiekkarakeet ovat sorarakeiden lailla useimmiten pyöristyneitä ja puhdaspintaisia. Hiekka on hyvin läpäisevä maalaji. Hiettaa tavataan usein laajoilla alueilla harjujen lähistöllä ja jokivarsitasangoilla. Karkean hiedan läpäisevyys on vielä melko hyvä, mutta hienon hiedan jo verrattain heikko. Hiesua esiintyy hieta- ja savialueiden rajamailla. Hiesu on melkein läpäisemätöntä. Savea tavataan eniten Lounais- ja Etelä-Suomen sekä Pohjanmaan tasankoalueilla sekä pienempinä alueina Sisä-Suomessa. Savi on pääsääntöisesti vettä läpäisemätöntä.
(Geologian tutkimuskeskus c.)

Raekoko

Raekoko vaikuttaa maalajin vedenläpäisevyyteen. Raekokoluokituksessa käytetään yleisesti Udden-Wentworthin (1922) mukaista luokittelua (taulukko 6). Udden-Wentworthin geometrisessa luokituksessa jokaisen raekokoluokan alakoko on kaksi kertaa suurempi kuin edellisen koko alakoko, esimerkiksi hyvin hienon soran rakoko on 2 - 4 mm ja hyvin karkean hiekan raekoko on 1 - 2 mm. Taulukossa esitetty, Krumbeinin vuonna 1934 kehittämä, Φ -asteikko perustuu kahden-kantaiseen logaritmiin. Φ -luokitus pohjautuu Udden-Wentworth-luokitukseen. Φ -luokituksessa jokaisen asteikon jako on tasavälinen, kuten esimerkiksi hyvin hieno sora -1...-2 ja hyvin karkea hiekka 0...-1. (Pfannkuch ja Paulson.)

TAULUKKO 6. Udden-Wentworth-luokituksen mukaiset maaperäluokituksessa käytettävät lajiterajat (Pfannkuch ja Paulson).

Lajite	Alalajite	Raekoko (mm)	Murtolukuna (mm)	Φ -yksikkö
Lohkareet		256...4096		-8...-12
Kivet		64...256		-6...-8
Sora	Hyvin karkea sora	32...64		-5...-6
	Karkea sora	16...32		-4...-5
	Keskisora	8...16		-3...-4
	Hieno sora	4...8		-2...-3
	Hyvin hieno sora	2...4		-1...-2
Hiekka	Hyvin karkea hiekka	1...2		0...-1
	Karkea hiekka	0,5...1	1/2...1	1...0
	Keskihiekka	0,25...0,5	1/4...1/2	2...1
	Hieno hiekka	0,125...0,25	1/8...1/4	3...2
	Hyvin hieno hiekka	0,0625...0,125	1/16...1/8	4...3
Siltti	Karkea siltti	0,031...0,0625	1/32...1/16	5...4
	Keskisiltti	0,0156...0,031	1/64...1/32	6...5
	Hieno siltti	0,0078...0,0156	1/128...1/64	7...6
	Hyvin hieno siltti	0,0039...0,0078	1/256...1/128	8...7
Saves	Karkea saves	0,00195...0,0039	1/512...1/256	9...8
	Keskisaves	0,00098...0,00195	1/1024...1/512	10...9
	Hieno saves	...0,00098	...1/1024	...10

Lieju on vedellä kyllästyneenä tavallisesti huonosti läpäisevää. Kuivuessaan lieju kuitenkin halkeilee, jolloin sen läpäisevyys kasvaa. Turpeen läpäisevyys riippuu suuressa määrin turpeen maatumisasteesta ja huokoisuudesta. Raakaturve on tavallisesti hyvin läpäisevää, kun taas maatunut turve saattaa olla lähes läpäisemätöntä. Tutkimusten perusteella pääturvelajit, sara- ja rahkaturve, ovat fyysikaalisilta ominaisuuksiltaan hyvin erilaisia. Rahkaturpeille on ominaista erittäin helppo veden kulku, kun maatumisaste on alhainen. Sen sijaan pitkälle maatuneessa turpeessa vedenkulku on lähes olematonta. Saraturve on rakenteeltaan heikosti maatuneenakin verrattain tiivistä ja vettä pidättävää. (Geologian tutkimuskeskus c.)

Maaperän vedenläpäisykyky

Maan vedenläpäisevyydellä (hydraulisella johtavuudella) tarkoitetaan veden virtausnopeutta maa-aineksessa hydraulisen putouksen ollessa yksi. Vesimäärä, joka virtaa

aikayksikössä tietyn poikkileikkauksen läpi kyllästyneessä maassa, on suoraan verrannollinen hydrauliseen gradienttiin. Maassa virtaava vesi noudattaa Darcyn lakia. Darcyn laki kuvaa veden laminaarista virtausta maaperässä:

$$v = k \times i, \quad (2)$$

missä v on veden virtausnopeus [m/s], k on vedenläpäisevyyskerroin eli Darcyn kerroin (eli hydraulinen johtavuus) [m/s] ja i on hydraulinen putous eli hydraulinen gradientti. (Martio 2011, 18.) Taulukossa 7 on esitetty eri maalajien vedenjohtavuus-, kokonaishuokoisuus- ja ominaisantoisuusarvoja.

TAULUKKO 7. Maalajien vedenjohtavuus-, kokonaishuokoisuus ja ominaisantoisuusarvoja (Suomen ympäristökeskus 2010).

Maalaji	Vedenjohtavuus K		Kokonaishuokoisuus [%]	Ominaisantoisuus Sy [%]
	[m s ⁻¹]	[m d ⁻¹]		
Sora	10 ⁻¹ - 10 ⁻⁴	10000 - 10	25 - 50	25 - 37
Karkea sora	> 1	> 100000	24 - 36	23
Keskikarkea sora	1 - 10 ⁻²	100000 - 1000		24
Hieno sora	1 - 10 ⁻³	100000 - 100	25 - 38	25
Hiekkainen sora	10 ⁻² - 10 ⁻⁶	1000 - 0,1		
Hiekka	10 ⁻² - 10 ⁻⁶	1000 - 0,1	25 - 50	25 - 38
Karkea hiekka	10 ⁻¹ - 10 ⁻⁴	10000 - 10	30 - 46	27
Keskikarkea hiekka	10 ⁻² - 10 ⁻⁵	1000 - 1	30 - 40	28
Hieno hiekka	10 ⁻³ - 10 ⁻⁶	100 - 0,1	26 - 53	10 - 28
Siltti	10 ⁻⁵ - 10 ⁻⁹	1 - 0,0001	35 - 61	8
Karkea siltti	10 ⁻⁴ - 10 ⁻⁶	10 - 0,1	30 - 35	
Hieno siltti	10 ⁻⁵ - 10 ⁻⁸	1 - 0,001	40 - 50	
Savi	< 10 ⁻⁸	< 0,001	34 - 70	3 - 10
Laiha savi			40 - 60	
Lihava savi			60 - 75	
Moreeni			20 - 55	
Soramoreeni	10 ⁻⁴ - 10 ⁻⁷	10 - 0,01		16
Hiekkamoreeni	10 ⁻⁶ - 10 ⁻⁸	0,1 - 0,001		16
Silttimoreeni	10 ⁻⁷ - 10 ⁻¹⁰	0,001 - 0,00001		6

Kokonaishuokoisuudella tarkoitetaan maaperän maahiukkasten ja -rakeiden väliin jäävän tyhjän tilan (huokostilan) suhdetta maamassan kokonaistilavuuteen ja ominaisantoisuudella huokoisen geologisen aineen tilavuusyksiköstä lähtevän vesimäärän

suhdetta kokonaistilavuuteen annettaessa veden valua pois painovoiman vaikutuksesta. (Suomen ympäristökeskus 2006.) Taulukossa 8 on esitetty aikoja, joiden kuluessa vesi saavuttaa pohjaveden pinnan.

TAULUKKO 8. Ajat, joiden kuluessa vesi saavuttaa pohjaveden pinnan (Suomen ympäristöopisto SYKLI 2007, 19.)

Maalaji	Pohjaveden virtausnopeus	Syvyys pohjaveden pintaan		
		1 m	5 m	10 m
		Aika pohjaveden pintaan		
Sora	1 - 100 m/h	< 1 h	< 1 h	< 1 h
Hiekka	10 cm/vrk - 30 m/vrk	< 1 vrk	1 vrk - 1 kk	1 vrk - 10 vuotta
Siltti	1 cm - 1 m / vuosi	1 kk - 1 vuosi	>1 vuosi	>10 vuotta
Savi	1 - 10 cm / vuosi	1 kk - 1 vuosi	-	-
Karkea moreeni	10 m/vuosi - 1 m/h	< 1 vrk	< 1 vrk - 1 kk	1 vrk - 1 vuosi
Savinen moreeni	10 cm - 100 m/vuosi	1 vrk - 1 kk	1 kk - 1 vuosi	>1kk - 10 vuotta
Turve	1 - 100 m/vuosi	>1 vrk	-	-

Vaarallisten aineiden kuljetusonnettomuuden tapahtuessa maaperässä, jonka maalajina on sora, on välitön ympäristöriskin ehkäiseminen ensiarvoisen tärkeää, sillä aineen kulkeutuminen maaperässä on erittäin nopeaa.

2.4 Case: Bensiinin ja kevyen polttoöljyn ympäristökäyttäytyminen

Vaarallisten aineiden kuljetuksista suurin osa kuuluu luokkaan 3 palavat nesteet. Palavista nesteistä suurin osa on polttonesteitä ja -öljyjä. Alla oleviin kappaleisiin on koottu bensiinin ja kevyen polttoöljyn ympäristökäyttäytymisen tunnuslukuja.

Bensiini

Neste Oil Oyj:n (2010) mukaan bensiinihiilivetyjen arvioidaan olevan hitaasti biohajoavia. Bensiinin aineosista MTBE:n (metyylitertiäributyylieetteri), ETBE:n (etyylitertiäributyylieetteri), TAEE:n (tertiäriamyylieetteri) ja C₅-C₆-alkyyli-metyylieettereiden arvioidaan olevan erittäin hitaasti hajoavia. Bensiinin haihtuminen on nopein ja merkittävin häviämisprosessi pintavedessä, sedimentissä ja maaperässä. Kemiallista hajoavuutta arvioitaessa voidaan todeta bensiinin ja sen lisäaineiden, MTBE:n, ETBE:n ja TAEE:n, sekä C₅-C₆-alkyyli-metyylieetterien olevan yhdisteitä, jotka eivät

hydrolysoitu eli hajoa vedessä. Bensiinin haihtuvat yhdisteet ovat ilmakemiallisesti hajoavia. Bensiinihiilivedyt ovat mahdollisesti biokertyviä ($\log K_{ow} > 3$). MTBE ei ole biokertyvä, sen biokonsentraatiokertoimen (BCF) ollessa kalalle 1,5. Myöskään C₅-C₆-alkyyli-metyylieetterit ja ETBE eivät ole biokertyviä ($\log K_{ow} = 1,4 - 2,5$). Eräät komponentit liukenevat osittain veteen (MTBE, ETBE, TAEE, etanoli, C₅-C₆-alkyyli-metyylieetterit, bentseeni, tolueni, etylibentseeni ja ksyleeni), ja haihtuvat vesiliuoksesta nopeasti. Tuote voi läpäistä maaperän ja kulkeutua pohjaveteen, jonka mukana liukoisimmat aineosat leviävät. Suurimolekyylisimmät bensinihiilivedyt voivat adsorboitua maaperän tai sedimentin orgaaniseen aineeseen ($\log K_{ow} > 3$).

Kevyt polttoöljy

Kevyt polttoöljy on myrkyllistä vesieliöille. Kevyelle polttoöljylle pitoisuus, jossa puolet kaloista on kuollut 96 tunnin aikana (LL₅₀/96h/kala; *Oncorhynchus mykiss*, kirjolohi), on 21 - 230 mg/l. Veteen sekoittuneena (WAF, *water accommodated fraction*) pitoisuus, jossa aiheutuu haittaa puolelle eliöistä (EC₅₀/48h/*Daphnia magna*, vesikirppu) on 6,2–210 mg/l ja IL₅₀-arvo (72h/*Raphidocelis subcapitata*, viherlevä) on 10–78 mg/l. (ST1 2002.)

Adsorboituneet hiilivetyjäämät voivat aiheuttaa haitallisia vaikutuksia pohjasedimentin eliöille. Kevyt polttoöljy haihtuu hitaasti maan ja veden pinnalta ja se on veteen niukkaliukoinen. Tuote voi läpäistä maaperän ja kulkeutua pohjaveteen. Petroli- ja kaasuöljyhiilivedyt voivat absorboitua maaperän ja sedimentin orgaaniseen aineeseen. Kaasuöljyhiilivedyt ovat hitaasti biohajoavia (arvio). Anaerobisissa olosuhteissa hajoaminen on erittäin hidasta. Kevyt polttoöljy ei hydrolysoitu vedessä. Kaasuöljyhiilivedyt voivat hajota pintavedessä myös valokemiallisesti. Haihtuvat hiilivedyt ovat ilmakemiallisesti hajoavia. Kaasuöljyhiilivedyt ovat mahdollisesti biokertyviä ($\log K_{ow} > 3$). (ST1 2002.)

3 VAARALLISTEN AINEIDEN MAANTIEKULJETUKSET SUOMESSA

3.1 Lainsäädäntö

Vaarallisten aineiden kuljetuksia pitää säädellä, jotta ehkäistään, niin paljon kuin mahdollista, onnettomuudet, joista aiheutuu haittaa ihmisille tai ympäristölle. Eri maiden erilaiset kuljetuksia koskevat säädökset haittaavat kemikaalien kansainvälistä kauppaa ja kansainvälisiä kuljetuksia. Tämän lisäksi vaarallisiin aineisiin liittyy muita kuin kuljetuksiin liittyviä säädöksiä, kuten työturvallisuus- ja tuoteturvallisuus- sekä ympäristösäädöksiä. Yhdistyneet kansakunnat (YK) on kehittänyt mekanismin, jonka avulla yhdenmukaistetaan eri maiden säädöksiä. GHS-säädösten (*Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals*) avulla yhdenmukaistetaan riskien luokittelukriteerit ja TDG-säädösten (*Transport of Dangerous Goods*) avulla kuljetusolosuhteet kaikille kuljetusmuodoille. GHS:n tavoitteena on, että tieto kemikaalien fysikaalisista vaaroista ja toksisuudesta on saatavilla kemikaalien käsittelyssä, kuljetuksessa ja käytössä ihmisten terveyden ja ympäristönsuojelun vuoksi. GHS määrittelee myös kemikaalipakkausten etiketit sekä käytettävät käyttöturvallisuustiedotteet (*safety data sheet*). (UNECE.)

CLP-asetus, jolla pannaan täytäntöön GHS-säädökset, on Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EY) N:o 1272/2008 (*Classification, Labelling and Packaging of Substances and Mixtures*) kemikaalien luokituksista, merkinnöistä ja pakkaamisesta. Asetus tuli voimaan 20.1.2009 ja on siirtymäaikojen puitteissa sellaisenaan sovellettavaa, voimassa olevaa lainsäädäntöä. Siirtymäaikojen jälkeen CLP-asetus korvaa EU:n kemikaalien luokitusta, merkintöjä ja pakkaamista koskevat säädökset eli ns. aine- ja seosdirektiivin. CLP-asetuksessa on huomioitu sekä GHS-järjestelmän keskeiset osat että joitakin EU:n väistyvän kemikaalien luokitusta ja merkintöjä koskevan lainsäädännön (ainedirektiivi 67/548/ETY ja seosdirektiivi 1999/45/EY) osia, joita ei YK:ssa ole yhdenmukaistettu. (Suomen ympäristökeskus ja Valvira 2010.) CLP-asetusta ei sovelleta vaarallisten aineiden kuljetukseen ilmassa, merillä, maanteilla, rautateilla tai sisävesillä, lukuun ottamatta tilanteita, joihin sovelletaan CLP-asetuksen artiklaa 33, jossa säädellään ulkopakkausten, sisäpakkausten ja yksittäispakkausten merkinnöistä koskevia erityissääntöjä. (Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus 1272/2008.)

ADR-sopimus (*European Agreement Concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road*) on sopimus vaarallisten aineiden kansainvälisistä tiekuljetuksista. Sopimuksessa on määritelty eri osapuolten vastuut ja velvollisuudet kuljetusta-
pahtuman aikana. Myös Suomen sisäisissä kuljetuksissa noudatetaan vastaavia sää-
nöksiä. ADR-sopimukseen ovat liittyneet lähes kaikki Euroopan valtiot. Suomessa
käytetyn termin VAK voidaan katsoa tarkoittavan yleisesti vaarallisten aineiden kulje-
tukseen viittaavaa lyhennettä. Trafi myöntää koulutusluvut vaarallisten aineiden kuljet-
tajien ajolupakoulutukseen (ADR-kurssit), hyväksyy koulutusohjelmat ja -materiaalit
sekä valvoo koulutusta. Trafi hallinnoi ja valvoo ADR-ajolupakokeita ja ADR-
ajolupien myöntämistä sekä laatii ADR-ajolupakokeiden kysymykset (Liikenteen tur-
vallisuusvirasto a.)

Lain vaarallisten aineiden kuljetuksesta (2.8.1994/719) tarkoituksena on ehkäistä ja
torjua vahinkoa ja vaaraa, jota vaarallisten aineiden kuljetus saattaa aiheuttaa ihmisil-
le, ympäristölle tai omaisuudelle. Lain 7 §:ssä säädetään, että vaarallisten aineiden
kuljetuksessa ja siihen liittyvissä muissa toimenpiteissä, kuten pakkaamisessa ja tila-
päisessä säilytyksessä, on noudatettava tarvittavaa huolellisuutta ja varovaisuutta ot-
tamalla huomioon kuljetettavan aineen laji, määrä ja kuljetusmuoto.

Valtioneuvoston asetuksella vaarallisten aineiden kuljetuksesta tiellä (2002/194) sää-
detään vaarallisten aineiden tiekuljetuksesta silloin, kun se alkaa, suoritetaan ja päät-
tyy Suomessa. Asetuksen 34 §:ssä onnettomuudet ja niistä tehtävät ilmoitukset, sääde-
tään seuraavaa: ”Jos vaarallisen aineen kuljetuksessa sattuu onnettomuus, jonka seu-
rauksena kuljetettavan aineen vuotamisesta tai muusta syystä aiheutuu henkilö-, ym-
päristö- tai omaisuusvahingon vaara, ajoneuvon kuljettajan taikka kuormauksesta tai
purkamisesta vastuussa olevan on ilmoitettava tapahtuneesta välittömästi hätäkeskuk-
selle, annettava pelastusviranomaisille niiden tarvitsemat tiedot ja ryhdyttävä tilanteen
edellyttämiin sopiviin suojatoimenpiteisiin.”

Turvallisuusneuvonantajasta on annettu direktiivi 96/36/EY. Suomen lainsäädännössä
asia on määritelty asetuksella vaarallisten aineiden maakuljetusten turvallisuusneu-
vonantajasta (27.3.2002/274). Toiminnanharjoittajan on itse selvitettävä yllä olevien
säädösten perusteella, tuleeko yritykseen nimetä turvallisuusneuvonantaja. Tilannetta
on myös arvioitava uudelleen, jos yrityksen toiminta muuttuu. Toiminnanharjoittajalla
tarkoitetaan jokaista vaarallisen aineen kuljetusta suorittavaa luonnollista henkilöä,

oikeushenkilöä ja muuta yhteenliittymää tai henkilöryhmää sekä julkishallinnon elintä. Vaarallisen aineen kuljetuksella tarkoitetaan myös pakkaamista, lähettämistä, kuormaamista sekä muuta toimintaa, jolla on vaikutusta kuljetuksen turvallisuuteen. Turvallisuusneuvonantajana voi toimia toiminnanharjoittaja itse, toiminnanharjoittajan palveluksessa oleva henkilö tai ulkopuolinen henkilö. Turvallisuusneuvonantajalla on oltava voimassaoleva todistus turvallisuusneuvonantajan tutkinnosta. (Liikenteen turvallisuusvirasto b.)

3.2 Kansallinen VAK-strategia

Liikenne- ja viestintäministeriön (LVM) strategisena VAK-tavoitteena on ensisijaisesti varmistaa elinkeinoelämälle ja kansalaisille vaarallisiksi luokiteltujen aineiden toimivat ja turvalliset kuljetusketjut. Ministeriön VAK-toiminnan keskeisenä tavoitteena on varmistaa, että kansainväliset sopimukset ja EU-direktiivit tuodaan Suomen lainsäädäntöön ja muutoksista tiedotetaan toimijoille. Visiona vuodelle 2015 on, että vaarallisten aineiden kuljetuksia valvovien tahojen ja elinkeinoelämän tietämys ja yhteistyömuodot ovat maailmanlaajuisesti huippuluokkaa. Suomen VAK-liikenne on toimivaa ja kannattavaa ja palvelee sujuvasti kansalaisten, kaupan ja teollisuuden tarpeita ympäristöä ja henkilöturvallisuutta kunnioittaen. Liikenne- ja viestintäministeriön VAK-vision painopisteet jakautuvat viidelle aihealueelle: logistiikkaketjun toimivuudelle, turvallisuudelle, koulutukselle ja tiedotukselle, lainsäädännölle ja henkisille voimavaroille. Kullakin painopisteellä aihealueet, joita ministeriö työssään edistää. (Liikenne- ja viestintäministeriö 2006, 11 - 12.)

Liikenne- ja viestintäministeriön ympäristöpolitiikka on osa ministeriön yleistä liikennepolitiikkaa ja perustuu kestävän kehityksen periaatteeseen. Ympäristöturvallisuuden jatkuva edistäminen on kaikkien hallinnonalojen yhteinen tavoite. 2000-luvun ympäristöongelmat ja -kysymykset ovat usein globaaleja ja monisyisiä, ja niiden ratkaisemiseksi tarvitaan sekä ympäristöasioiden tehokasta integrointia muuhun toimintaan että yhteiskunnan monen osa-alueen toimia ja kiinteää eri hallinnonalojen ja toimijoiden yhteistyötä. Ympäristöturvallisuutta edistetään niin teknisillä parannuksilla kuin tietämyksen ja osaamisen lisäämisellä. Ensisijaisesti eri viranomaiset omalla kentällään kannustavat ja tukevat ennaltaehkäisevää toimintaa ja onnettomuuden satuttua rajoittavat vahinkoja tehokkaasti. Yhteistyön edistäminen on tärkeä tavoite myös pe-

lastustoimelle, ympäristöhallinnolle ja muille kyseeseen tuleville viranomaisille. (Liikenne- ja viestintäministeriö 2006, 22.)

Ympäristöhallinnon erityisenä tavoitteena VAK-toiminnassa on varmistaa pohjavesialueiden turvallisuus. Liikenne- ja viestintäministeriön ympäristötyön keskeisiä tavoitteita puolestaan on ilman, vesien ja maaperän pilaantumisen ehkäisy. Yhteistyö liikenne- ja viestintäministeriön ja ympäristöhallinnon sekä muiden pohjaveden suoje- lusta vastaavien tahojen kanssa on aktiivista. Esimerkkinä tästä on tuore sopimus yhteistyöstä ja tiedonvaihdosta Tiehallinnon ja Suomen ympäristökeskuksen välillä. Vi- siona nähdään pohjavesialueiden tieluiska- ja onnettomuussuojausten olevan kunnossa ja niiden toimivuutta seurattavan tehokkaasti. Pohjavesisuojausten päätarkoituksena on estää tiesuolan kulkeutuminen pohjaveteen. Samalla rakenteet suojelevat pohja- vesialueita mahdollisten VAK-onnettomuuksien seurauksilta. Pohjavesisuojauksia on tällä hetkellä noin 250 kilometriä. Maanteitä on esimerkiksi tunnistetuilla vedenotta- moalueilla yhteensä noin 28 kilometriä, joista suojattuna on noin 25 kilometriä. Tule- vaisuudessa Tiehallinto laajentaa suojausrakenteita ensisijaisesti kiireellisimmin suo- jausta vaativille pohjavesialueille. (Liikenne- ja viestintäministeriö 2006, 22 - 23.)

VAK-tavoitteeksi ympäristöhallinto on asettanut seuraavat toimet, jotka heijastavat myös liikenne- ja viestintäministeriön omalle toiminnalleen asettamia tavoitteita:

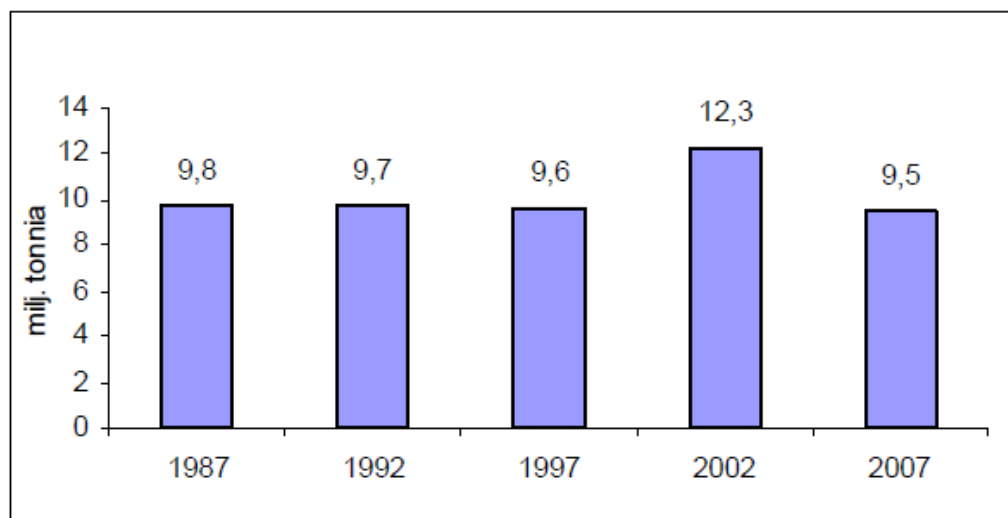
- VAK-reitit suunnitellaan välttämään merkittävimpiä pohjavesimuodostumia ja vedenottamoita.
- Nopeusrajoitukset riskialueilla tähtäävät onnettomuuksien välttämiseen.
- Pohjavesialueet merkitään tie- ja rataverkkojen varteen ja tästä tiedotetaan kul- jetusyrityksille.
- Pohjavesialueilla ei ole valvomattomia tasoristeyksiä. (Liikenne- ja viestintä- ministeriö 2006, 23.)

Ministeriö panostaa entistä enemmän ja kohdennetusti tiedottamiseen niille toimijoil- le, jotka tietoa eniten tarvitsevat. Ministeriön liikenneturvallisuusohjelman mukaisesti seurataan raskaan liikenteen valvontasuoritteita poliisin, tullin ja rajavartiolaitoksen tekemin VAK-tarkastuksin. Liikenne- ja viestintäministeriön vision saavuttamiseksi panostetaan erityisesti ammattiliikenteen onnettomuuksien vähentämiseen ja onnetto- muuksien seurausten lieventämiseen. Ministeriö tehostaa erityisesti kuormasidontaa ajamalla etenkin EU:n alueen määräysten harmonisointia. Ministeriö myös selvittää

erilaisista rekistereistä, kuten turvallisuusneuvonantajarekisteristä, saatavan hyödyn, toteuttamismahdollisuudet sekä rekisterien perustamis- ja ylläpitokustannukset. (Liikenne- ja viestintäministeriö 2006, 24.)

3.3 Kuljetusmäärät

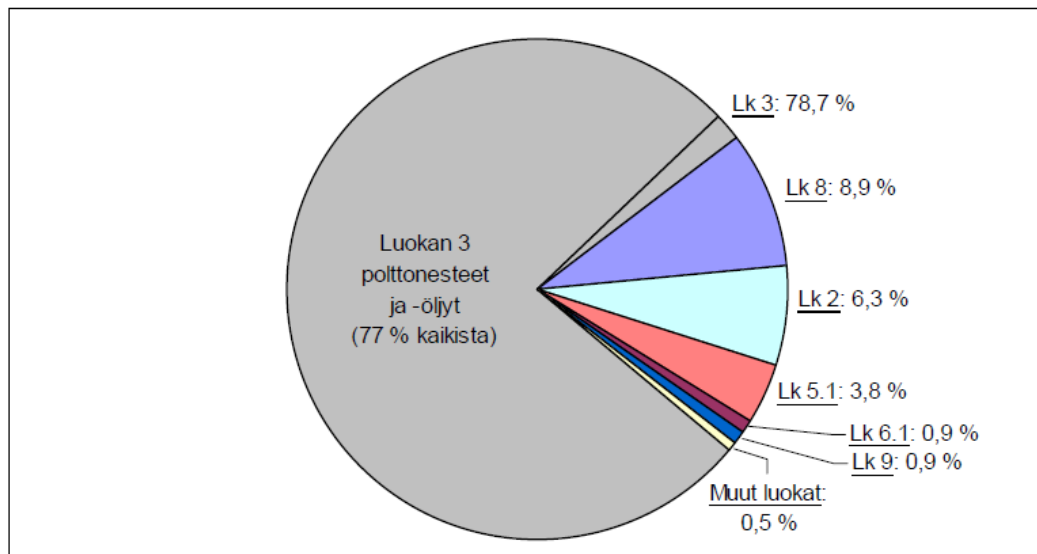
Suomessa maakuljetuksina vaarallisia aineita kuljettiin vuonna 2007 yhteensä 15,1 miljoonaa tonnia. Maanteitse kuljetettu määrä oli 9,5 miljoonaa tonnia (62 %) (kuva 1) ja rautateitse 5,6 miljoonaa tonnia (37 %). Tilastokeskuksen mukaan vaarallisten aineiden kuljetusmäärä vuonna 2007 oli 10,9 miljoonaa tonnia, ja niiden osuus tieliikenteen kokonaistavaramäärästä oli 3 %. Tilastokeskuksen tilastojen mukaan lasku vuoteen 2002 verrattaessa oli 4,8 miljoonaa tonnia. Osaltaan eroa nyt käsillä olevaan ministeriön selvitykseen voi selittää erilaisilla tiedonkeräystavoilla. Tieliikenteen tavarankuljetustilaston 2007 mukaan vaarallisten aineiden kuljetuksista kertyi kuljetussuoritetta yhteensä 1 575 miljoonaa tonnikilometriä, ja keskimääräinen kuljetusmatka oli 174 kilometriä (kaikkien tavaroiden kohdalla 45 km). (Häkkinen 2009, 14.) Tilastokeskuksen mukaan vaarallisten aineiden kuljetusmäärä vuonna 2009 oli 11,2 miljoonaa tonnia eli 3,2 % tieliikenteen kokonaistavaramäärästä (Tilastokeskus 2010).



KUVA 1. Vaarallisten aineiden tiekuljetusten kokonaismäärä (miljoonaa tonnia) vuosina 1987, 1992, 1997, 2002 ja 2007 (Häkkinen 2009, 15).

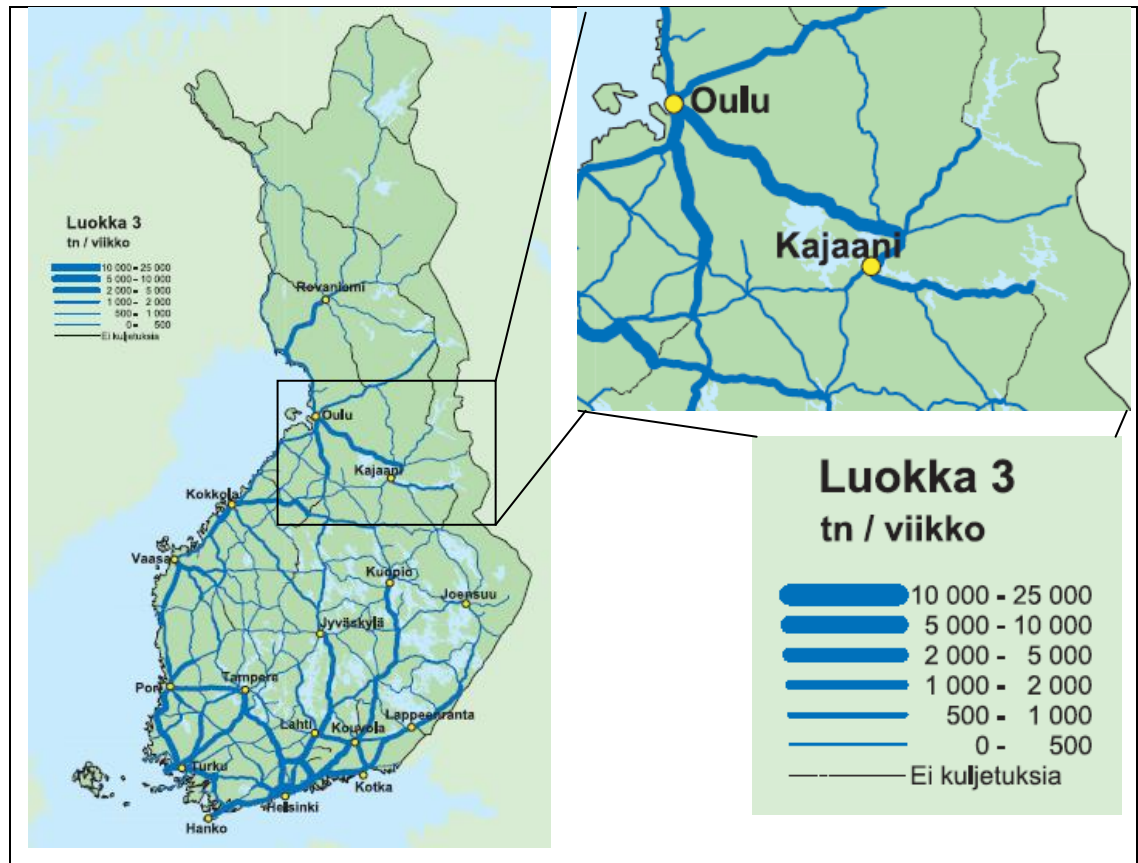
Vuonna 2007 suurin osa kuljetuksista oli luokan 3 palavien nesteiden kuljetuksia (noin 79 %) (kuva 2). Seuraavaksi eniten kuljetettiin luokan 8 syövyttäviä aineita (n. 9 %). Luokan 2 kaasujen osuus oli noin 6 % ja luokan 5.1 hapettavien aineiden noin 4

%. Luokan 6.1 myrkyllisillä aineilla ja luokan 9 vaarallisilla aineilla kummankin osuus oli lähes 1 %. Kaikkien muiden vaarallisten aineiden yhteenlaskettu osuus oli alle 1 %. (Häkkinen 2009, 15.)



KUVA 2. Vaarallisten aineiden tiekuljetusten jakauma (%) vuonna 2007 (Häkkinen 2009, 15).

Vaarallisten aineiden kuljetusmäärät Kainuussa ovat alhaisempia kuin Etelä-Suomessa. Valtatie 22 (Oulu-Kajaani) luokan 3 kuljetusmäärät ovat olleet vuonna 2002 noin 5000 - 10000 tonnia viikossa (Häkkinen 2004). Kuvassa 3 on esitetty luokan 3 (palavat nesteet) kuljetusmäärät Suomessa ja Kainuussa vuonna 2002.



KUVA 3. Vaarallisten aineiden luokan 3 kuljetusmäärät Kainuussa vuonna 2002 (Häkkinen 2004).

3.4 Kuljetusonnettomuudet

Vaarallisten aineiden onnettomuuksia tilastoidaan pelastustoimen resurssi- ja onnettomuustilastoon, PRONTOon. Järjestelmää käytetään pelastustoimen seurantaan ja kehittämiseen sekä onnettomuuksien selvittämiseen. Vaarallisten aineiden kuljetusonnettomuuksia tapahtui Kainuussa vuonna 2010 kymmenen ja vuonna 2011 seitsemän (taulukko 4).

TAULUKKO 4. Vaarallisten aineiden kuljetusonnettomuudet Kainuussa vuosina 2007 - 2009 (ka.), 2010 ja 2011. (PRONTO 2012.)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Yhteensä
Vuosien 2007 - 2009 keskiarvo	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2
2010	1	0	1	1	2	2	1	1	1	0	0	0	10
2011	0	0	1	0	0	3	2	0	0	0	1	0	7

Taulukossa 5 on esitetty koko maan tilasto keskiarvona vuosilta 2007 - 2009 sekä vuosilta 2010 ja 2011. Vaarallisten aineiden kuljetusonnettomuuksia tapahtuu Suomessa noin 300 vuodessa. Vuosina 2010 ja 2011 vaarallisten aineiden kuljetusonnettomuuksia tapahtui vuosittain enemmän kuin keskimäärin vuosina 2007 - 2009 sekä Kainuussa että koko maassa.

TAULUKKO 5. Vaarallisten aineiden kuljetusonnettomuudet koko maassa vuosina 2007 - 2009 (ka.), 2010 ja 2011. (PRONTO 2011.)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Yhteensä
Vuosien 2007 - 2009 keskiarvo	14	18	20	19	20	26	32	25	22	22	23	17	258
2010	10	14	22	30	22	33	41	33	31	20	23	20	299
2011	14	17	22	12	25	50	40	25	23	37	28	24	317

4 YMPÄRISTÖRISKIN ARVIOINTI

4.1 Riskin määrittely

Riskille on monta määritelmää. U.S. Environmental Protection Agency (2011) määrittelee riskin mahdollisuudeksi haitallisiin vaikutuksiin, jotka aiheutuvat altistumisesta ympäristöstressitekijälle. Vaikutukset voivat kohdistua ihmisten terveydelle tai ekologisille systeemeille. Stressitekijä voi olla mikä tahansa fyysikaalinen, kemiallinen tai biologinen kokonaisuus, joka voi aiheuttaa haitallisen vasteen. Stressitekijä voi vaikuttaa tiettyyn luonnonvaraan tai koko ekosysteemiin mukaan lukien kasvit ja eläimet sekä koko ympäristö, jonka kanssa ne ovat vuorovaikutuksessa.

Vaaralla tarkoitetaan aineen potentiaalia aiheuttaa haittaa. Riskillä tarkoitetaan sitä todennäköisyyttä, jolla vaarasta tulee haitta, eli riski = vaara \times altistus. (Royal Society of Chemistry 2008, 1.)

Haitta-aineiden aiheuttamien riskien arviointi edellyttää tietoa siitä, miten yhdiste jakautuu maa-aineksen, huokosveden ja huokosilman välillä. Kemikaalit kulkeutuvat kyllästymättömässä kerroksessa useiden erilaisten prosessien avulla. Nämä prosessit ovat kemikaalien kulkeutuminen kaasui-, vesi- ja NAPL (*Non-Aqueous Phase Liquids*)-faaseissa advektiolla, diffuusiolla ja dispersiolla sekä kemikaalien siirtyminen faasis-

ta toiseen. Monet kemikaalit reagoivat kiinteän faasin (maaperä/kallio) kanssa fysikaalisesti tai kemiallisesti. Lisäksi maassa kemikaalit läpikäyvät erilaisia kemiallisia ja biologisia reaktioita. Veteen liuennut aine leviää virtaavan veden mukana keskimääräisestä virtausnopeudesta riippuvalla nopeudella (advektio) sekä hydrodynaamisen dispersion avulla. (Kuusela-Lahtinen ym. 2010, 36 - 38.) Kemikaalien ympäristökäyttäytymisestä on kerrottu tarkemmin kappaleessa 5.3 (s. 5).

Riskinarvioinnissa käytettyjä ja biohajoavuuden arviointiin vaikuttavia parametreja ovat esimerkiksi vesiliukoisuus, oktanoli-vesi-jakaantumiskerroin, biokertyvyyskerroin ja puoliintumisaika. Biohajoavuuden määrittäminen on tärkeä osa ympäristölle vaarallisten kemikaalien luokitteluperusteita ja riskinarviointia. Kemikaalien biohajoavuudesta on tietopankeista saatavilla huomattavasti vähemmän tietoa kuin kemikaalien ekotoksisuudesta. Tietokannoista vain muutama on erikoistunut biohajoavuustiedon keräämiseen. Yleisimmin saatavilla oleva biohajoavuustieto onkin, onko kemikaali helposti biohajoava eli kemikaalin biohajoavuus on testattu ns. *ready biodegradability* -testillä. Tietokannat sisältävät myös kemikaalien puoliintumisaikoja eri ympäristöissä. Puoliintumisaika kertoo kuitenkin vain kemikaalin biohajoavuuspotentiaalil ympäristössä. Tietopankkien lisäksi on varauduttava etsimään kemikaalien biohajoavuustietoa kansainvälisistä julkaisuista, jos halutaan perehtyä kemikaalin hajoamiseen esimerkiksi Suomen olosuhteissa. (Kuusela-Lahtinen ym. 2010, 28.)

REACH- ja CLP-asetukset edellyttävät, että kemikaaliyritykset toimittavat Euroopan kemikaalivirastoon (ECHA) tietoja aineista, joita ne valmistavat, tuovat EU-alueelle tai joissain tapauksissa käyttävät. Toimitettavat tiedot sisältävät tietoja aineen vaarallisista ominaisuuksista, luokittelusta ja merkinnöistä sekä tarvittaessa myös aineen riskiominaisuuksista. Kemikaalivirastossa tietoja käytetään useisiin tarkoituksiin, kuten kemikaalitietokannan rakentamiseen. *Information on Chemicals* -osion kautta pääsee julkiseen kemikaalitietokantaan. (ECHA a.) Tietokanta on ECHA:n ja OECD:n ylläpitämä eChemPortal (ECHA b). eChemPortalista saa tietoa aineiden fysikaalis-kemiallisista ominaisuuksista, ekotoksisuudesta, ympäristökohtalosta ja -käyttäytymisestä, kuten biohajoavuudesta, sekä toksisuudesta. (OECD.)

Kulkeutumisen laskenta

Liuenneiden haitta-aineiden kulkeutumista vajovesivyöhykkeessä pohjaveteen mallinetaan yksinkertaisimmillaan laimenemiskertoimien avulla. Kehittyneimmissä malleissa voidaan ottaa huomioon lähteen pitoisuuden väheneminen haihtumisen ja suotautumisen johdosta, haitta-aineiden biohajoaminen, dispersio sekä kulkeutumisen hidastuminen pidättymisen seurauksena. Lisäksi kehittyneimmässä mallissa vajovesivyöhykkeelle voidaan määrittää kaksi ominaisuuksiltaan erilaista maavyöhykettä. (Kuusela-Lahtinen ym. 2010, 46.)

Tarkasteltavissa malleissa haitta-aineiden kulkeutumista ts. pitoisuuden muutosta pohjavedessä arvioidaan yksinkertaisimmillaan laimenemiskertoimien avulla kuten vajovesivyöhykkeen tapauksessa. Kehittyneemmät mallit ottavat huomioon hidastumisen pidättymisen vaikutuksesta, aineen hajoamisen ja dispersion. Lisäksi RISC-mallissa voidaan pohjavedessä sijaitsevan lähteen tapauksessa arvioida lähteen poistumisen vaikutusta pitoisuuteen. (Kuusela-Lahtinen ym. 2010, 46.)

Kaasujen kulkeutumista maassa mallinetaan yleisesti diffuusion avulla. Kehittyneemmässä mallissa voidaan ottaa huomioon aineen hajoaminen. Kaasujen kulkeutumista rakennuksen alta sisäilmaan puolestaan arvioidaan RISCissä Johnsonin ja Etingerin (1991) esittämällä mallilla, joka ottaa huomioon sekä diffuusion että advektion perustuvan kulkeutumisen. (Kuusela-Lahtinen ym. 2010, 46.)

4.2 Vaarallisten aineiden kuljetusten suunnittelutyökalu, VAKSU

Vaarallisten aineiden kuljetusten suunnittelutyökalu, VAKSU, on paikkatietopohjainen työkalu vaarallisten aineiden kuljetusten ympäristöriskien hallintaan. Työkalussa tie- ja rataosuudet on jaettu maaperän läpäisevyyden perusteella riskiluokkiin (taulukko 9). Luokitusten avulla hätäkeskus, pelastustoimi sekä jatkotoimenpiteiden suorittajat osaavat valita sopivat ensitorjuntatoimenpiteet kullekin mahdolliselle vaarallisten aineiden kuljetusten onnettomuuspaikalle. Lisäksi työkalua voivat hyödyntää vaarallisia aineita lähettävät ja kuljettavat yritykset suunnittelussaan. (Gaia 2009.)

VAKSU kehitettiin vuosituhaten vaihteessa osana liikenne- ja viestintäministeriön, ympäristöhallinnon sekä useiden yhteistyötahojen toteuttamaa EU Life -hanke-

kokonaisuutta TradGIS. Hanke toteutettiin teknologia- ja hydrologiavetoisesti ilman, että järjestelmän käyttömahdollisuuksia, soveltuvuutta, kentän tarpeita, käyttöhalukkuutta ja -mahdollisuuksia tutkittiin etukäteen. Lopulta sinänsä toimivaa järjestelmää ei sen valmistuttua ole otettu minkäänlaiseen käyttöön. Alkuvuonna 2005 selvitettiin LVM:n toimesta VAKSUn laajemman käyttöönoton edellytyksiä. Kehitysselvityksen mukaan VAKSUn käyttämättömyys johtui potentiaalisten käyttäjien järjestelmää koskevan tiedon puutteesta sekä osin työkalun käyttöliittymän ja teknisen toteutuksen asettamista käyttöhaasteista. (Gilbert ym. 2009, 84 - 85.) VAKSU-luokituksessa on esitetty myös toimenpiteitä vaarallisten aineiden kuljetusonnettomuuksien varalle (taulukko 10).

TAULUKKO 9. VAKSU-luokitus (Laine 2009).

Pääloukka	Alaluokka / tunnus	Pohjaveden pinta (m maan pinnasta)	Hydrologinen ja hydrogeologinen ympäristö
W Avovesi Välitön valunta tai valunnan vaara maa-alueelta, haitan nopea leviäminen (erityisesti luokka WI).	WI	-	Meren-, järven-, lasku-uomallisen lammen- ja joen ranta. Purot, viettävät ojat, edellisiin viettävät lähialueet.
	WII	-	Laskuojattomat, kirkasvetiset lammet, erityisesti harjuissa. Sorakuoppien vedet.
	WIII	-	Muut laskuojattomat lammet. Vesistöille vähäistä riskiä aiheuttavat ojat.
A Maapeite Hyvin vettä läpäisevä ja heikosti adsorboiva maa joko tapahtumakohdassa tai valuntasuunnassa.	AI	<6	Alavat, karkearakeiset maat: sorakuoppien pohjat, harjujen reunat, leikkaukset, ydinalueet.
	AII	>6	Karkearakeista ainesta käsittävät muut alueet: harjut, karkearakeiset deltat, muiden deltojen ja reunamuodostumien karkearakeiset osat, vastaavat.
	AIII	-	AI-AII -alueiden ulkopuoliset yhteysalueet, soveltuvasti myös BI-BII -alueiden vastaavat.
B Maapeite, kallio Puoliläpäisevä, mutta jonkin verran adsorboiva maa, kalliopohja.	BI	<6	Hienohiekkaluokan maat: harjujen ja reunamuodostumien osat, johtavuudeltaan vastaavat moreenimaat.
	BII	>6	Kuten edellä.
	BIII	-	Viettävät kallio-moreenimaat (ei yhteysalueet).
C Maapeite Heikosti läpäisevä tai läpäisemätön maa (CI, CII), muut pohjat (esimerkiksi keinotekoiset), turvemaat.	CI	-	Tasaiset savi- ja hienosilttimaat, ei mainittavaa imeytymisvaaraa mutta alueella voi esiintyä peitteisiä vettä johtavia kerrostumia.
	CII	-	Loivasti viettävät tai tasaiset savi-, siltti- ja hienorakeiset moreenimaat, muut tarkemmin luokittelemattomat pohjat (selostettava laatu ja ominaisuudet).
	CIII	-	Turvemaat, joilla huomattava pidätyskyky.

TAULUKKO 10. VAKSU-riskiluokituksen toimenpiteet (Laine 2009).

Alaluokka	Toimenpiteet	Huomautuksia
	Vahingon tapahtuessa suojarakennesuudella varustetulla tiellä tarkistetaan ensimmäiseksi, onko haitta-ainetta päässyt suojatun alueen ulkopuolelle	
WI	<i>Vesistötorjunta, uomien ja painanteiden patoaminen.</i>	<i>Erittäin kiireellinen, nopeat alkutoimet.</i>
WII	<i>Soveltuvat vesistötorjuntatoimenpiteet, suojapumppaus haitta-aineen maaperään pääsyn estämiseksi.</i>	<i>Erittäin kiireellinen. Pohjavesitoimenpiteet tarvittaessa, kiireellinen pohjavesiasiantuntija-apu.</i>
WIII	<i>Soveltuva vesistötorjunta, uomien patoaminen.</i>	<i>Erittäin kiireellinen erityisesti sade- ja sulamiskautena (lähinnä ojat).</i>
AI	<i>Likaantuneen maan poisto. Selvityspohjaveden likaantumisesta, tarvittaessa pumppaus.</i>	<i>Erittäin kiireellinen. Välittömästi pohjavesiasiantuntija-apu.</i>
AII	<i>Likaantuneen maan poisto. Selvityspohjaveden likaantumisesta, pumppausedellytyksistä ja haitan leviämissuunnasta, tarvittaessa syvätekniikan käyttö.</i>	<i>Erittäin kiireellinen. Välittömät soveltuvat jatkotoimenpiteet, pohjavesiasiantuntija-apu.</i>
AIII	<i>Likaantuneen maan poisto, uomien patoaminen.</i>	Kuten edellä.
BI	Kuten AI, pumppaus kaivannosta.	Kuten AI.
BII	<i>Likaantuneen maan poisto. Selvitys pohjaveden likaantumisesta ja torjuntamallista; olosuhteista riippuen.</i>	<i>Erittäin kiireellinen. Selvitys aloitetaan välittömästi pohjavesiasiantuntija-apua käyttäen.</i>
BIII	<i>Pintavirtauksen rajoittaminen, likaantuneen maan poisto.</i>	<i>Kiireellinen.</i>
CI	<i>Likaantuneen maan poisto.</i>	<i>Ilman tarpeetonta viivytystä.</i>
CII	Kuten edellä, haitan leviämiselvitys.	Kuten CI.
CIII	Kuten CII.	Kuten CI.

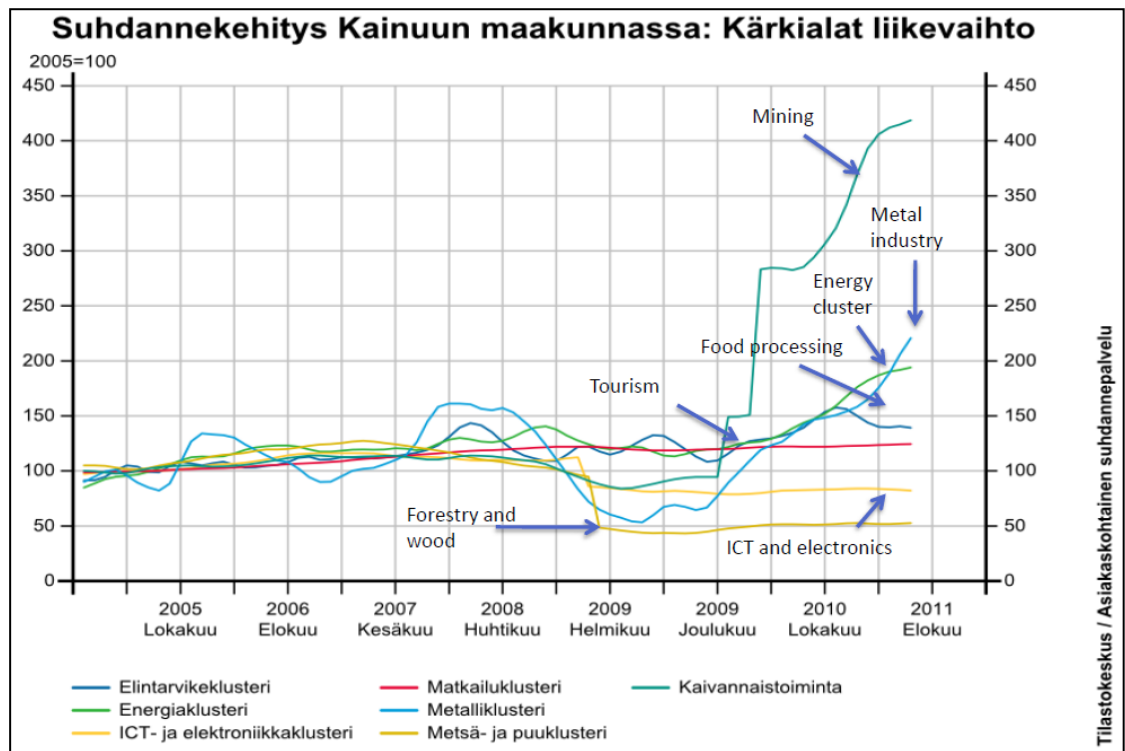
Toimenpiteet on luokiteltu erittäin kiireelliseksi, mikäli vaarallisten aineiden kuljetus- onnettomuus tapahtuu alueella, joka on luokiteltu avovedeksi (W) tai jos maaperä on erittäin hyvin vettä läpäisevä ja pohjavedenpinta on alle 6 m syvyydellä maanpinnasta (A) sekä luokissa BI ja BII.

5 VAARALLISTEN AINEIDEN MAANTIEKULJETUSTEN YMPÄRISTÖOLOSUHTEET KAINUUSSA

5.1 Kainuun maakunta

Kainuuseen kuuluu yhdeksän kuntaa: Hyrynsalmi, Kajaani, Kuhmo, Paltamo, Puolanka, Ristijärvi, Sotkamo, Suomussalmi ja Vaala. Maakunta rajoittuu kaakossa Pohjois-Karjalaan, etelässä Pohjois-Savoon, lännessä ja pohjoisessa Pohjois-Pohjanmaahan ja koillisessa Koillismaahan sekä idässä Venäjään. Kainuun asukasluku on noin 84000. Kainuu on pinta-alaltaan 24452 km², eli harvaanasutun maakunnan väestötiheys on noin 4 as./ km². Vähenevä väestö keskittyy kuntakeskuksiin ja Kajaanin seudulle. (Kopra 2011, s. 10.)

Metsätaloudella on Kainuun aluetaloudessa merkittävä rooli. Metsäsektori käy läpi mittavaa rakennemuutosta, ja mm. mekaanisen puunjalostuksen, puutuoteteollisuuden ja metsäenergian liiketoiminnallinen merkitys kasvaa. Myös muut elinkeinot ovat alkaneet työllistää kainuulaisia viime vuosina yhä enemmän, ja niiden osuus maakunnan elinkeinoalojen liikevaihdosta on yhä suurempi. Näitä toimialoja ovat ICT ja elektroniikka, matkailu / elämystuotanto (=matkailu, kulttuuri ja liikunta), elintarviketeollisuus, kivi- ja kaivannaishallinto ja metalliala. Kainuun tärkeimpiä vientituotteita ovatkin mittalaitteet, ajoneuvotietokoneet, junavaunut, teollisuusmineraalit, vuolukivi, luonto ja luonnontuotteet. Kainuun merkittävimpiä haasteita ovat työttömyys, väestön väheneminen, osaavan työvoiman puute, tiedossa oleva väestörakenteen muutos ja maakunnan talouden kehitys. (Kopra 2011, s. 10.) Kainuun kärkialojen liikevaihtoa tarkasteltaessa havaitaan kaivannaistoimialan kasvaneen vuodesta 2010 alkaen muita kärkialoja huomattavasti nopeammin (kuva 4).



KUVA 4. Kainuun maakunnan kärkialojen suhdannekehitys liikevaihdolla mitattuna vuodesta 2005 alkaen (Kainuun maakunta -kuntayhtymä 2012).

Seuraavaksi työssä tarkastellaan tarkemmin Kainuun kaivannaisteollisuutta, maaperää, pohjavesimuodostumia ja vesistöjä, koska ne ovat työn tekemiseen ja riskinarviointiin vaikuttavia oleellisia osatekijöitä.

5.2 Kainuun kaivannaisteollisuus

Kainuun maakunnassa kaivostoimintaa harjoittavat Mondo Minerals Oy ja Talvivaara Oy Sotkamossa sekä Tulikivi Oy Suomussalmella. Lisäksi Kuhmossa ja Suomussalmella sijaitsee vuolukivilouhoksia ja Paltamossa maanparannuskalkin tuotantoon erikoistunut tuotantolaitos, Juuan Dolomiittikalkki Oy. Vireillä on Kuhmo Metals Oy:n nikkelikaivos Suomussalmella sekä Mondo Minerals Oy:n uusi kaivoshanke Paltamossa. (Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskus ja Kainuun ympäristökeskus 2009, 58 - 59).

Mondo Minerals Oy:n Sotkamon tehtaalla käytettiin vuonna 2009 raskasta polttoöljyä rikasteen kuivauksessa 1920 tonnia (Karjalainen 2010, s. 22). Pohjois-Suomen lupavirasto on vuonna 2007 antanut Talvivaaran kaivokselle ympäristöluvan monimetalli-esiintymien hyödyntämiseen (Pohjois-Suomen lupavirasto 2007). Ympäristölupaha-

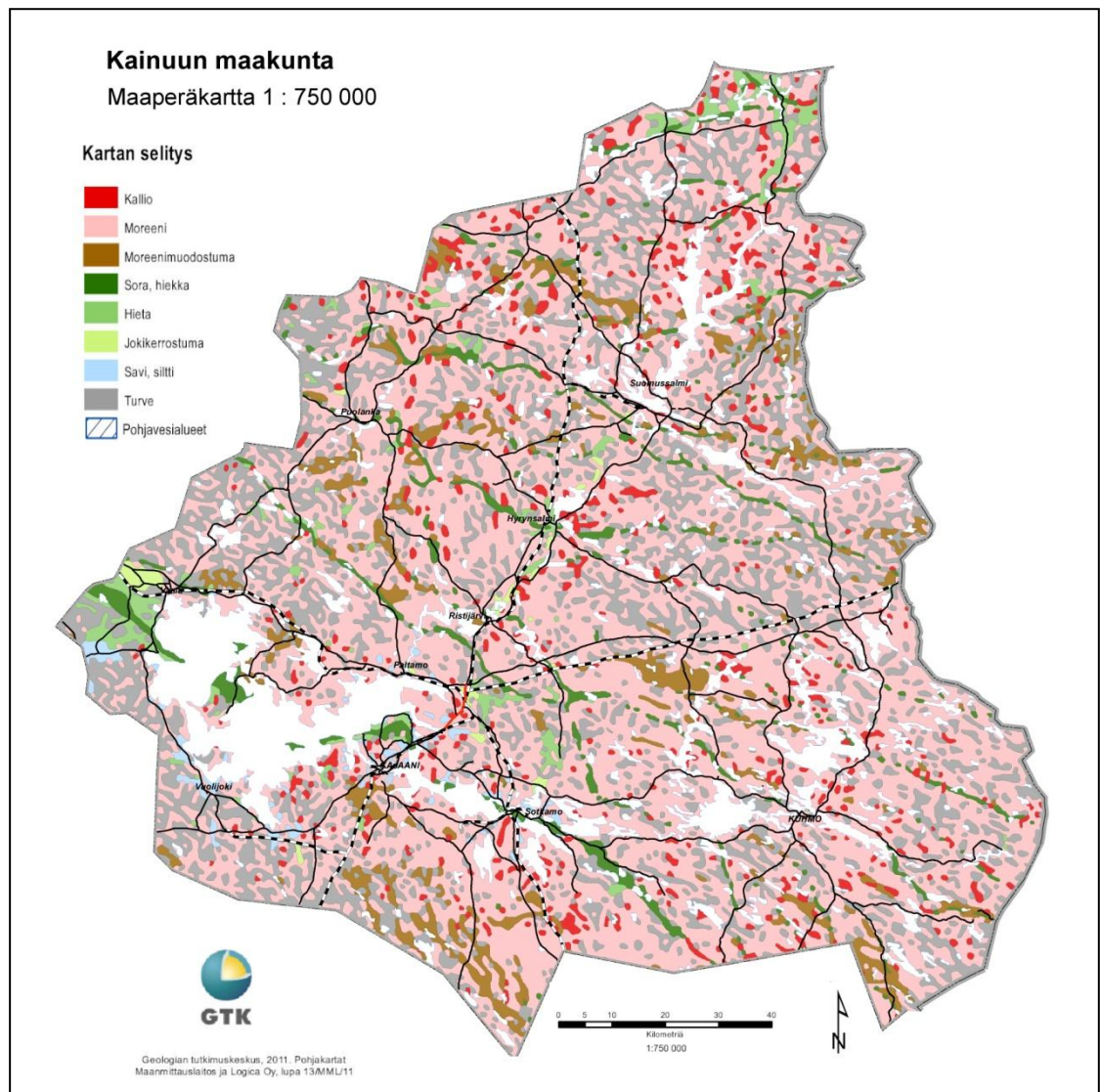
kemuksen mukaan toiminnassa käytetään kemikaaleja (taulukko 11). Vuonna 2009 Talvivaaran Sotkamon kaivoksella käytettiin lämmitykseen raskasta polttoöljyä 35 GWh (n. 3 miljoonaa litraa) ja kevyttä polttoöljyä 2,6 GWh (n. 260000 litraa). Lisäksi kaivoksen polttoaineen jakeluasemilla tankattiin työkoneisiin moottoripolttoöljyä 37 GWh (n. 3,7 miljoonaa litraa). (Karjalainen 2010, s. 22.)

TAULUKKO 11. Talvivaaran kaivoksella käytettävien kemikaalien arvioituja vuotuisia määriä (Pohjois-Suomen lupavirasto 2007, s. 29).

Kemikaali	Lyhenne	Käyttökohde	Käyttömäärä, t/v
riikkihappo	H ₂ SO ₄	agglomerointi, pH:n säätö	390 000
propani	C ₃ H ₈	vedyn valmistus	23 000
vety	H ₂	rikkivedyn valmistus	4 000
natriumhydroksidi (100 %)	NaOH	neutralointi metallien talteenotossa	42 000
rikkivety	H ₂ S	metallisulfidien saostus	70 000

5.3 Kainuun maaperä

Kainuun maaperä on saanut nykyisen muotonsa suurelta osin jäätiköitymisen loppuvaiheessa noin 10 000 vuotta sitten (Kainuun ympäristökeskus 2008 a). Kovalaisen ym. (2000, 10) mukaan harjut muodostavat selkärangan Kainuun maaperälle. Perääntyvät ja sulavan jäätikön alta, sisältä ja päältä vapautui suuret määrät vettä, joka kuljetti, huuhtoi ja pyöristi jäätikön irrottamaa kallioperän ja maaperän ainesta. Jäätikkövesien virtausvoiman heiketessä veden mukana kulkeva aines kerrostui glasifluviaaliksi muodostumiksi, joita ovat mm. harjut ja deltat. Kainuun harjut ovat sijoittuneet maastoon pääosin luode-kaakko-suuntaiseksi edusten jäätikön virtaussuuntaa. Harjujen väliset alueet ovat usein kallioperän muotojen kontrolloimia ja suurelta osin peitemoreenin verhoamia (kuva 5). Paikoin harjujaksojen välimaastoon on kerrostunut myös näyttäviä drumliineja eli pitkittäismoreeniselänteitä tai moreenikumpareita. Eloperäiset kerrostumat muodostavat Kainuun maaperän ylimmän osan. (Kainuun ympäristökeskus 2008 a.)



KUVA 5. Kainuun maaperäkartta.

Pintamaalajeista yleisin on turve, joka on syntynyt suokasvien jäänteistä mineraalimaiden päälle. Kainuun suot kuuluvat aapasuovyöhykkeeseen. Aapasoilla suoalueen keskikohta on reunoja alempana, ja erilaiset nevat ja rämeet ovat yleisiä. Kainuun soista on ojitettu noin 64 % puuntuotantoon sopiviksi, ja luonnontilaisten soiden osuus on vähentynyt merkittävästi. Turvesoita käytetään myös polttoturpeeksi. (Kainuun ympäristökeskus 2008 a.) Suomen geologisten soiden määrä on Geologian tutkimuskeskuksen mukaan 33514 kpl, ja niiden yhteispinta-ala on 5,1 miljoonaa hehtaaria. Kainuussa on yli 20 hehtaarin soita 3857 kappaletta, joiden yhteispinta-ala on 461473 ha (keskikoko 119 ha). Energiaturpeeksi soveltuvien keskimääräinen tehollinen energiasältö on 0,54 MWh/suo-m³ eli 50 %:n käyttökosteudessa ilmoitettuna 0,48 MWh/suo-m³. (Karjalainen 2010, 14.)

5.4 Kainuun pohjavesimuodostumat

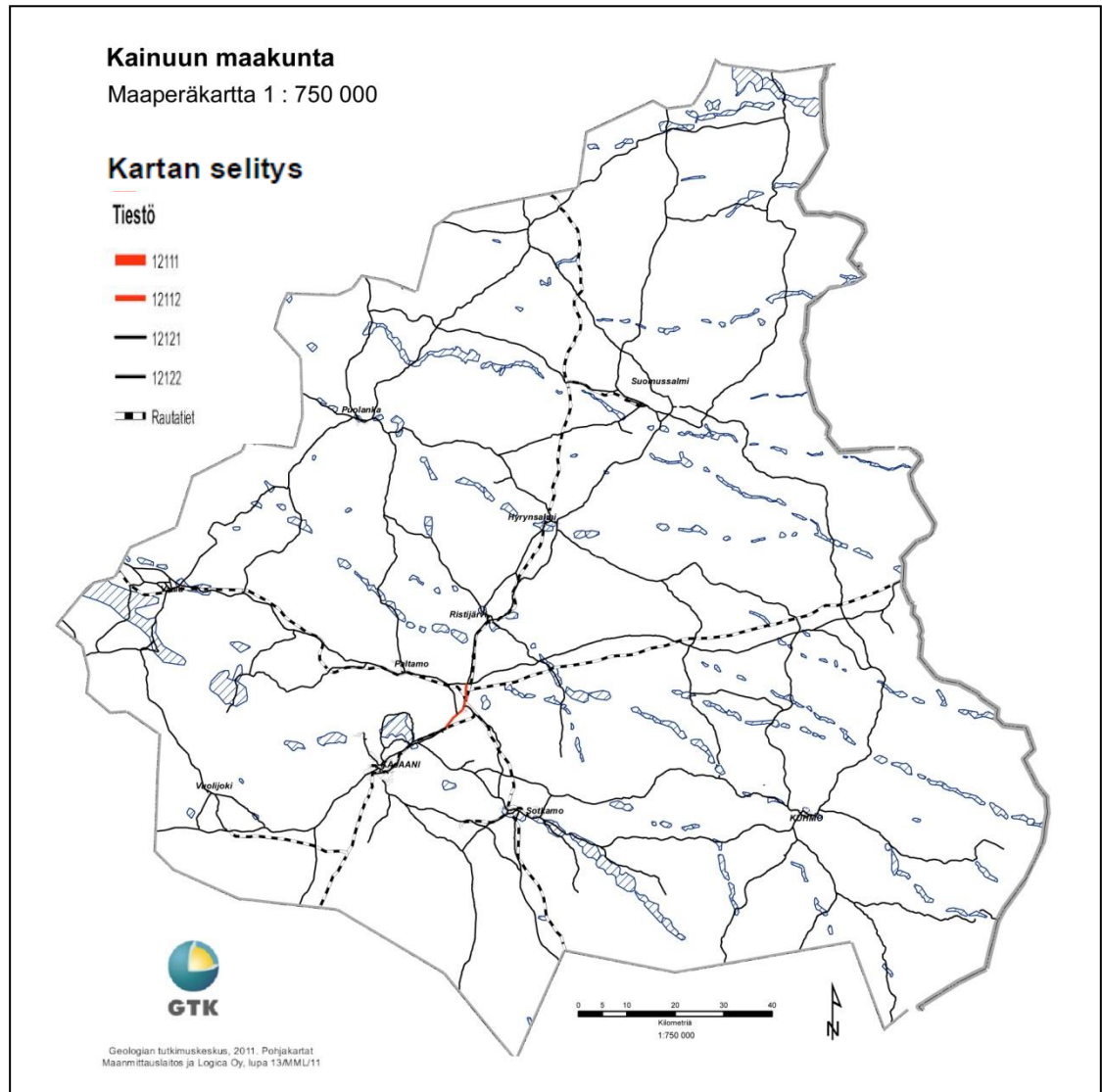
5.4.1 Yleistä

Pohjaveden muodostumisella tarkoitetaan maanpinnan alle imeytyvää ja pohjavesivyöhykkeeseen joutuvaa vettä. Muodostumiseen vaikuttaa pääasiassa sadanta. Pohjavesivyöhyke on horisontaalinen kerrostuma, jossa maarakeiden välinen huokos-tila on veden täyttämää. Kainuun pohjavesivaroista suurin osa liittyy huokosiin, karkearakeisiin sora- ja hiekkamuodostumiin eli harjuihin. Valtakunnallisen kartoitus- ja luokitustyön yhteydessä nämä harjut on rajattu omiksi pohjavesialueiksi. (Kainuun ELY 2010.)

Kainuun ympäristökeskuksen alueella on yhteensä 260 luokiteltua pohjavesialuetta (kuva 6). Luokkaan I (tärkeä pohjavesialue) kuuluvia alueita on 53 ja luokkaan II (vedenhankintaan sopiva pohjavesialue) kuuluvia 161. Jatkotutkimuksia edellyttäviä III-luokkaan (muu pohjavesialue) kuuluvia pohjavesialueita on 46. Pohjavesialueiden kokonaispinta-ala on yhteensä 848 neliökilometriä ja muodostumisalueiden pinta-ala on 463 neliökilometriä. Pohjavesialueiden hyödynnettävän vesimäärän on arvioitu olevan 387465 kuutiometriä vuorokaudessa. Pinta-alaltaan Kainuun suurimmat pohjavesiesiintymät ovat lännessä Vaalan Säräisniemelle ulottuva Rokuan jatke ja Kajaanin pohjoispuolella oleva Matinmäki-Mustikkamäki-harjualue sekä Sotkamon kaakkoispuolella sijaitseva Riekinkangas-Räätäkkangas-harju. Lisäksi Kainuun pohjoisosasta tavataan iso Hossan saumamuodostuma. Näiden suurimpien muodostumien laskennallinen antoisuus on kymmeniä tuhansia kuutiometrejä päivässä. Muut pohjavesialueet ovat pääasiassa pienehköjä pitkittäisharjuja, joiden antoisuus jää alle 1500 kuutiometriin päivässä. (Kainuun ELY 2010.)

Pohjaveden laatu on yleisesti katsoen hyvä. Pohjavedet ovat kuitenkin lievästi happamia ja lähes kaikilla vedenottamoilla on käytössä alkalointi. Rauta ja mangaani eivät ole juuri aiheuttaneet ongelmia pohjaveden käytölle, kun vettä otetaan harjuista. Sen sijaan yksityistalouksien maa- ja kallioporakaivoissa, joissa vesi on peräisin moreeni-muodostumista tai kallioperästä, rauta- ja mangaaniongelma on suurempi. Usein käyttö- kelpoisen veden saamiseksi kotitalouksissa joudutaan puhdasvesi- järjestelmään asentamaan erilaisia puhdistuslaitteita. Kainuun alueella radon ei ole kalliopohjavesissä samankaltainen ongelma kuin mitä se on esim. Kaakkois-Suomessa. Tämä selittyy

sillä, että Kainuun kallioperä on pääasiassa vanhaa graniittigneissää. Kaakkois-Suomen radon-ongelmat sijoittuvat nuorille rapakivigraniitti- alueille. Pohjavedenot- tamoiden ja tavallisten maakaivojen vesissä suuria radonpitoisuuksia esiintyy vain harvoin. (Kainuun ELY 2010.)



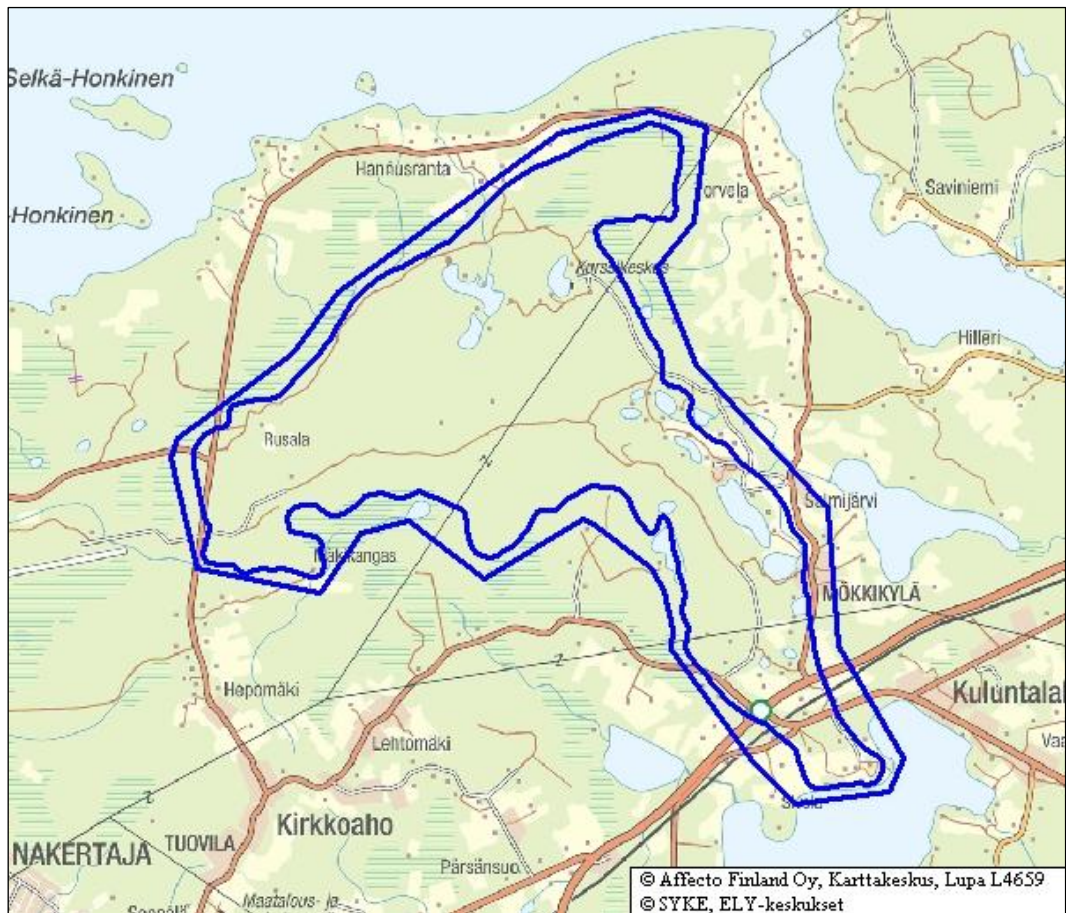
KUVA 6. Kainuun pohjavesialueet.

5.4.2 Case: Matinmäki-Mustikkamäki, Kajaani

Kainuun tärkein pohjavesimuodostuma on Matinmäen-Mustikkamäen pohjavesialue Kajaanin pohjoispuolella. Lähes kaikki Kajaanin kaupungin alueelle toimitettava talousvesi hankitaan viidestä eri puolilla Matinmäen-Mustikkamäen-pohjavesialuetta sijaitsevista pohjavedenottamoista (Kajaanin Vesi.)

Matinmäen-Mustikkamäen pohjavesialue (1120501) sijaitsee Kajaanin kaupungin pohjois- ja koillispuolella noin kahdeksan kilometrin etäisyydellä kaupungin keskustasta (Moilanen 2011, 14). Matinmäen-Mustikkamäen pohjavesialue on osa luode-kaakko-suuntaista suurta harjujaksoa, joka kulkee Hailuodon-Rokuan-Vuokatin kautta Pohjois-Karjalaan. Maa-aines alueella on pääasiassa hienoa tai keskikarkeaa hiekkaa. Karkeampaa materiaalia (sora tai kivistä sora) on tavattu vain Matinmäen ja Mustikkamäen alueelta. Topografialtaan harjualue on suotuisaa pohjaveden muodostumiselle. Korkeat harjanteet ja suppakuopat vuorottelevat siten, että huomattava osa sadannasta imeytyy maaperään. Pohjavettä virtaa kohti Matinmäkeä, Hannusrantaa ja Kuluntalahtea. Vedenjakaja sijaitsee Pekonmäen alueella. Paikallisesti pohjavettä purkautuu alueen pohjoisreunalla oleville soille sekä lounaassa Lankisensoille. Pohjavesialueen kokonaispinta-ala on 24,97 km² ja muodostumisalueen pinta-ala 18,19 km². Arvioitu muodostuvan pohjaveden määrä alueella on 14950 m³/d. Alueen maaperän imeytymiskerroin on 0,6. (Ympäristötiedon hallintajärjestelmä Hertta.)

Pohjavesialueella on tällä hetkellä viisi vedenottamo (kuva 7) ja vedenotto jakaantuu ympäri pohjavesialuetta. Ottamoilla otetaan nykyisin noin puolet siitä vesimäärästä, joka alueella arvioidaan kokonaisuudessaan muodostuvan. (Moilanen 2011, 18.) Pohjaveden laatua seurataan jatkuvasti ottamoilta ja vesijohtoverkosta. Pohjavesialueella klooripitoisuus on ollut pääsääntöisesti viime vuosina eri ottamoilla muutaman milligramman luokkaa eli kloridin määrä on ollut pieni. (mts. 22 - 23.)



KUVA 7. Matinmäen-Mustikkamäen pohjavesialue (Ympäristötiedon hallintajärjestelmä Hertta).

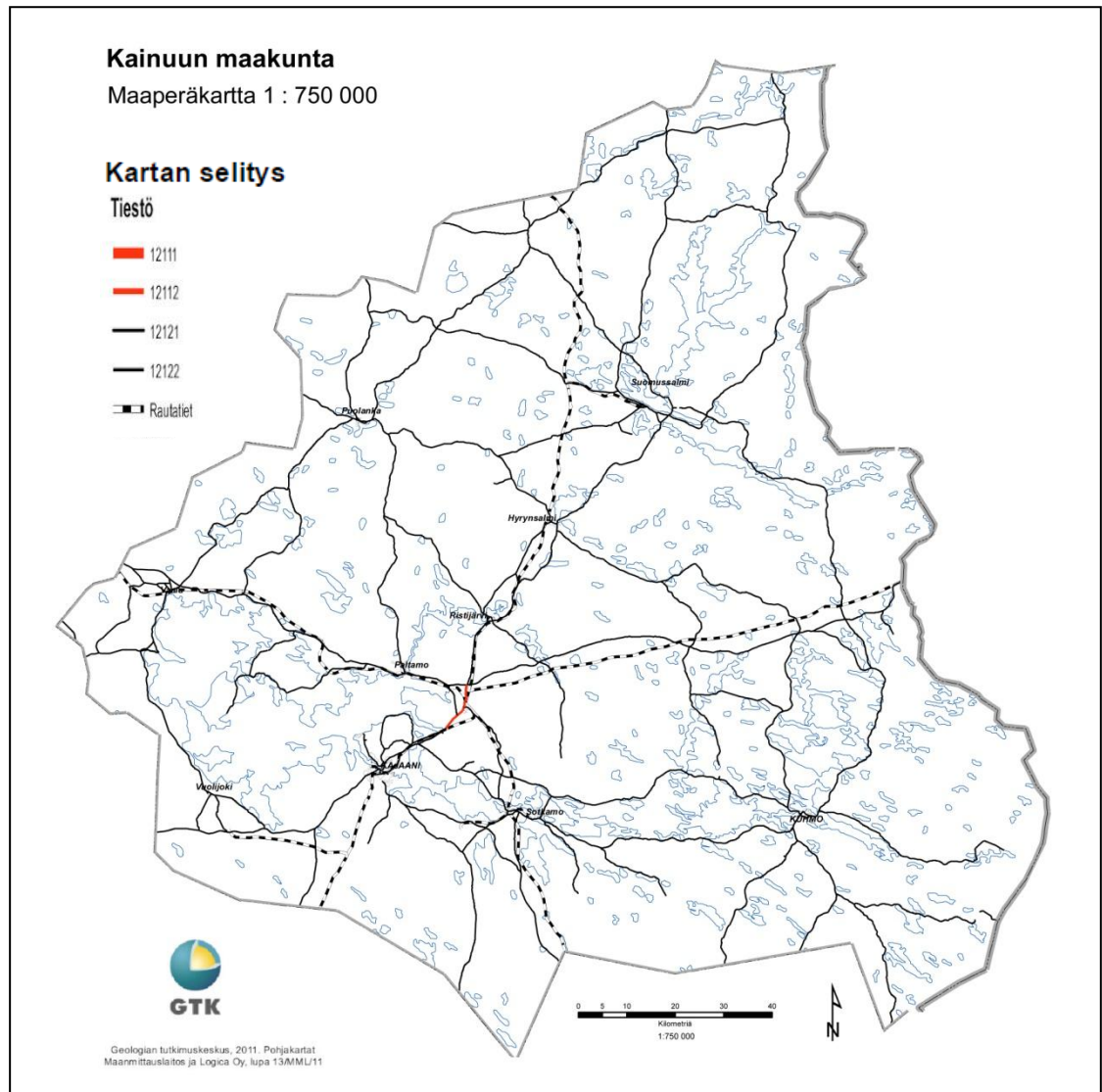
Lähes kaikki Kajaanin Veden toimittamasta talousvedestä hankitaan viidestä eri puolella Matinmäen-Mustikkamäen-pohjavesialuetta sijaitsevista pohjavedenottamoista. Pohjavesi alueella täyttää talousvedelle asetetut laatuvaatimukset ilman käsittelyä. Kajaanin Veden jakama talousvesi on pehmeää, kokonaiskovuus 1,7 - 2,7 dH ja pH on suhteellisen alhainen n. 7,0. (Kajaanin Vesi.)

Matinmäen-Mustikkamäen pohjavesialueella eniten riskejä pohjaveden laadulle aiheuttavat maatalous, tienpito ja kuljetukset, maa-ainestenotto ja asutuksen jätevedet. Muita riskejä aiheuttavat toimintoja ovat asutus, lentokenttä, motocross-rata, sähkömuuntajat, öljysäiliöt, metsätalous sekä yritys- ja harrastetoiminta. (Moilanen 2011, 27.) Valtatie viiden ja yhdystie 8990:n kautta kulkee runsaasti maantieliikennettä, joten tiekuljetuksiin liittyvä onnettomuusriski on olemassa. Vuoden 2002 arvion mukaan pelkästään palavia nesteitä (luokka 3) kuljetettiin pohjavesialueen läpi 5000 - 10000 tonnia viikossa. Onnettomuusriskin ja jatkuvan tiesuolauksen vuoksi on suositeltavaa,

että edellä mainituille tieosuuksille rakennetaan pohjavesisuojaus teiden perusparannuksen yhteydessä. (mts. 34 - 35.)

5.5 Kainuun vesistöt

Kainuun pinta-alasta on 12 % vettä (kuva 8). Yli hehtaarin kokoisia järviä on lähes 5000. Kainuun vesistöt ovat pääosin karuja ja humuspitoisia. Vesien laatuun vaikuttavat oleellisesti valuma-alueen ominaisuudet ja käyttö. Metsätalous on Kainuussa merkittävin vesistöjen kuormittaja, paikallisesti myös maatalous ja eräät muut ravinnepäästöjä aiheuttavat toiminnat. Kalankasvatus ja turvetuotanto aiheuttavat jonkin verran rehevöitymistä ja kiintoainepäästöjä alapuolisiin vesistönsiin. Pääosassa Kainuun järviä vedenlaatu on kuitenkin hyvä. Teollisuuden jätevesikuormitus ja sen vaikutukset rajoittuvat purkupaikkojen välittömään läheisyyteen. Sama koskee yhdyskuntien jäteveden puhdistamoja. Sekä teollisuus että kunnat ovat jatkuvasti tehostaneet jätevesiensä puhdistusta. (Kainuun ympäristökeskus 2007.)



KUVA 8. Kainuun vesistöt.

Vesiensuojelun tavoitteena on suojella vesistöjä ja turvata vesivarojen kestävä käyttö. Pienvesien suojeluun on havahduttu vasta viime vuosina. Valtakunnallisesti arvokkaiden pienvesien inventoinnissa arvokkaiksi pienvesikohteiksi luokiteltiin Kainuussa 149 kohdetta ja kalastollisesti arvokkaiksi kohteiksi 21 tammukkapuroa. Arvokkaat kohteet jakaantuivat epätasaisesti Kainuun eri osiin. Arvokkaista pienvesistä suurin osa sijaitsee Kainuun itä- ja pohjoisosissa, mistä löytyy vielä jopa lähes luonnontilaisia valuma-alueita. (Kainuun ympäristökeskus 2007.)

Kainuun maakunnan alueella tiestö ja rautatiet seurailevat usein harjuja ja reunamuodostumia. Maantie- ja rataliikenteen suorat päästöt vesistöihin ovat yleensä vähäisiä ja johtuvat pääosin onnettomuuksista. (Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskus ja Kainuun ympäristökeskus 2009, s. 65.)

6 MENETELMÄT

6.1 Maaperäkartoitus

Alustava maaperäkartoitus

Maaperän riskiluokittelu aloitettiin alustavalla maaperäkartoituksella, jossa yhdistettiin olemassa oleva paikkatietoaineisto samaan tietokantaan tammikuussa 2010. Riskiluokitusta varten alueen liikenneväylät haettiin maastotietokannasta. Kainuun maakunnan alueelta luokiteltiin 885 tiekilometriä tienumeroilta: 5, 6, 22, 28, 75, 76, 78, 89, 870, 8710, 899, 8714 ja 8740. Maastotietokannasta valittiin erikseen vesialueet polygonimuotoisena sekä joet, purot, ojat, korkeuskäyrät viivamuotoisina ja lähteet pisteaineistona. Näkymään lisättiin 1:20 000 maaperäkartta-aineisto niiltä osin kuin aineistoa Kainuun maakunnan alueella on olemassa ja muilta osin 1:200 000 maaperän yleiskartta-aineisto. Lisäksi aineistoon yhdistettiin maaperän yleiskartoituksen maastohavainto-aineisto, maa-ainesmuodostumarajat ja kallioperäkartoituksen rakennetulkinta (lineamenttiaineisto). (Väänänen 2010a, 5.)

Kohdealueelta tehtiin kaksi aluetasoa, jolle myöhemmin kohdistettiin paikkatietoanalyysit ja tulkinnat. Ensimmäinen aluetaso muodostettiin levittäen liikenneväylien viivatasoa 50 metriä tien molemmille puolille (puskurointi), jolloin tuloksena oli keskimäärin 100 metriä leveä aluetaso. Toinen aluetaso muodostettiin vastaavasti liikenneväyläviivaa puskuroidulla 1000 m molemmille puolin. Tuloksena syntyi 2000 metriä leveä aluetaso, jolloin aineistoon saatiin mukaan laajemmalta alueelta vesialueet sekä jokien, purojen ja ojien virtaussuunnat. Paikkatietoanalyysia varten maaperäkartta-aineisto luokiteltiin VAKSU-pääloukkiin: vesialueisiin (W), hyvin vettä läpäiseviin alueisiin (A), puoliläpäiseviin alueisiin (B) ja heikosti vettä läpäiseviin alueisiin (C). (Väänänen 2010a, 5.)

Tarkentava maastokartoitus

Tarkentavassa maastokartoituksessa työn kohteena oli Kainuun maakunnassa olevien vaarallisten aineiden kuljetusten kannalta keskeisten liikenneväylien ympäristö keskimäärin 50 m etäisyydellä tien keskilinjasta. Maastokartoitusta tehtiin Geologian tutkimuskeskuksen toimesta elo-syyskuun 2010 aikana aiemmin alustavasti luokitelluille A-, BI- ja W-luokkien alueille henkilö- tai maastoautolla liikkuen. Maastokartoituksin tarkennettiin riskiluokitusta seuraavilta liikenneväyliltä: Vaala-Paltamo-Kajaani-Sotkamo-Kuhmo-väylä (tienumerot 22, 5 (E63), 6, 76) ja Kajaani-Suomussalmi-tie (5-tie). Muilla alueilla jäi alustava luokittelu voimaan. Tarkennettujen tieosuuksien yhteispituus oli noin 100 km. (Väänänen 2010b, 2.)

Tarkentavassa maastokartoituksessa maastotarkastushavainnot tehtiin maaperäkartoituksessa käytettävällä kartoituspiikillä, jonka syvyysulottuvuus on noin yksi metri maanpinnasta. Maastotarkastushavainnot tehtiin yhteensä 1096 pisteestä. Lisäksi maastokartoituksessa tehtiin 40 pienkalliohavaintoa. Samalla havainnoitiin vesistöjen virtaussuuntia ja virtaamaa, pohjaveden pintaa ja mahdollista kallioperän ruheisuutta. Maaperän kerrosjärjestys ja pienkalliopaljastumat tallennettiin Maapeli-käyttöliittymällä maastotietokoneelle. WI-luokan alueet kartoitettiin siten, että tieväylälle saatiin maaperäluokitukseen perustuva riskiluokka ja vesistön läheisyys kuvattiin rinnakkaisluokkana. Vesistöjä ylittävät pengertiet ja kapeilla kannaksilla kulkevat tieosuudet kuvattiin vain WI-luokassa. Lisäksi tarkennettiin BI-luokkaa yleensä karkean hiedan alueilta ja lähdeympäristöissä. Maastotarkastuksissa tehtiin myös havainnot kallioperän rakenneviivojen ympäristöistä mahdollisten riskialttiiden ruhevyöhykkeiden paikallistamiseksi. Kartoitusalueen ojista ja puroista arvioitiin virtaaman määrää sekä todettiin virtauksen suunta silmämääräisesti. (Väänänen 2010b, 3.)

6.2 Maaperän geofysikaaliset tutkimukset

Pohjaveden pinnankorkeudesta sekä pohjaveden pinnan yläpuolisten kerrosten maala-jeista ei ole saatavissa luotettavaa tietoa kaikilta tärkeiltä pohjavesialueilta Kainuun maakunnan alueelta. Maatutkaluotauksella saadaan kustannustehokkaasti tietoa pohjaveden pinnankorkeustasosta sekä maala-jeista. Kainuussa maatutkaluotauskohteiksi valittiin kolme pohjavesialuetta: Riekin-Räätä kangas Sotkamossa, Laajankangas-Kankari Vaalassa sekä Valkeisen kangas Ristijärvellä. Maatutkaluotauksilla tarkennet-

tiin olemassa olevaa tietoa pohjavesialueiden hydrogeologisista olosuhteista. Tutkimuslinjoja luodattiin yhteensä 4 kappaletta, joiden yhteispituus oli 7621 metriä.

Maatutkaluotaus perustuu radiotaajuisten sähkömagneettisten (SM) aaltojen käyttöön. Käytettävä taajuusalue on 10 - 3000 MHz. Vaikuttavina fysikaalisina parametreina ovat väliaineen sähkönjohtavuus ja dielektrisyys sekä magneettinen susceptibiliteetti. Väliaineen sähkönjohtokyky eli sähkönjohtavuus kuvaa vapaiden varausten liikkumista väliaineessa. Ulkoinen sähkökenttä siirtää varauksia paikasta toiseen. Mitä enemmän vapaita varauksia, ioneja ja elektroneja, sitä suurempi on materiaalin sähkönjohtavuus ja maatutkasignaalin vaimennus. Dielektrisyysarvo kuvaa aineen kykyä varautua eli polarisoitua ulkoisen sähkökentän vaikutuksesta. Dielektrisyysarvon suuruus riippuu pääasiassa vapaan veden määrästä materiaalissa, sillä vesipitoisuuden kasvu nostaa suhteellista dielektrisyyttä. (Tiehallinto 2004, 10.)

Maaperän magneettinen susceptibiliteetti aiheutuu ferrimagneettisista mineraaleista, pääosin magnetiitista, titaanimagnetiitti sekä maghematiitista. Vaikka magneettinen susceptibiliteetti teoriassa vaikuttaa maatutkaluotaukseen, magneettisen susceptibiliteetin pitää olla erittäin korkea, jotta se vaikuttaa luotaussignaaliin. (Takahashi, Preetz ja Igel 2011, 369.)

Pulssitutkaperiaatteella toimiva maatutkakalusto koostuu useasta komponentista, joista tärkein yksikkö on antenni(t), joka koostuu itse antennista ja antennielektronikakayksiköstä, jossa määrätään lähetettävän pulssin pituus ja voimakkuus. Antenni lähettää pulssin väliaineeseen ja kerää rajapinnoista palaavat signaalit. Maatutkan näytteenotin sijaitsee useimmiten ohjaus- tai keskusyksikössä, jossa muunnetaan heijastuneet signaalit sellaiseen muotoon, että ne voidaan taltioida joko analogisessa tai digitaalisessa muodossa tallentimelle. Keskusyksikön kautta ohjataan koko tutkayksikön toimintaa ja sen avulla määrätään mm. pyyhkäisyjen määrä aika- tai matkayksikköä kohti, mittausaika sekä pyyhkäisyjen näytteiden määrä ja datan muoto. Maatutkakalustoihin kuuluvat kiinteästi erilaiset datatallentimet, sekä näytteenottoa ohjaavat anturit, kuten optiset pulssianturit. Paikannusta ohjaavat ja paikkatietoa tallentavat useimmiten GPS laitteet sekä nykyisin myös oleellisena osana digitaalivideokalusto. (Tiehallinto 2004, 13.)

Kainuussa maatutkaluotaukset suoritettiin Geo-Work Oy:n toimesta GSSI:n valmistamalla amerikkalaisella SIR-3000-tyyppisellä maatutkalaitteistolla. Luotauksissa käytettiin 100 MHz:n taajuista antennia ja 500 - 600 ns mittausaikaa. Mitattaessa maatutkalaitteisto oli sijoitettuna mittaajan syliin ja antennia vedettiin käsin perässä. Tulos rekisteröitiin maatutkalaitteiston kovalevyille, josta se siirrettiin tietokoneelle, jossa tiedostoja käsiteltiin GeoDoctor 2.3 profiilinkäsittelyohjelmalla. Paikannus tapahtui käsi-GPS:n (Garmin 62s) avulla. Koordinaattijärjestelmänä käytettiin KKKJ 27 (YKJ). Koordinaattipisteet merkittiin mittauksen yhteydessä maatutkalle. Näiden pisteiden x- ja y-koordinaatteja käytettiin hyväksi profiilien tasoituksessa ja linjojen pituuden määrittämisessä. Korkeuskoordinaatti z on pyritty korjaamaan kartalta mahdollisimman oikeaksi, mutta on kuitenkin vain viitteellinen. Näistä GPS-pisteistä muodostettiin reititkartat. (Pollari 2011, 1 - 4.)

6.3 Maaperäkairaukset ja pohjaveden havaintoputkien asentaminen

Referenssikairaukset

Kairausten avulla voidaan tutkia vettä johtavien maakerrosten syvyyttä, paksuutta ja koostumusta. Kairausten yhteydessä otettavien maanäytteiden avulla voidaan tarkentaa maaperän koostumusta koskevia tietoja ja selvittää maakerrosten vedenläpäisevyyttä. Kairauksilla voidaan selvittää myös irtomaakerrosten alapuolella sijaitsevan kallion pinnan korkeusasema sekä tutkia kallioperän veden johtavuuteen vaikuttavia laatuominaisuuksia. Kairausten avulla voidaan tarkentaa alustavien, suuntaa-antavien tutkimusmenetelmien, kuten geofysikaalisten tutkimusten tuloksia. (Arjas 2005, 87.)

Referenssikairauksia tehtiin Kainuussa maatutkaluotauskohteissa: Riekin-Räätä kangas Sotkamossa, Laajankangas-Kankari Vaalassa sekä Valkeisenkangas Ristijärvellä. Kairaukset tehtiin auger-kairauksena Geotech 604 -kairauslaitteistolla ja porakonekairauksena kallioperän pintakerroksen varmistamiseksi. Auger-kairauksessa saadaan maaperän kerrosjärjestys luotettavasti selvitettyä ja voidaan ottaa edustavia näytteitä erityyppisistä maakerroksista. Porakonekairauksessa maaperänäytteet otettiin hylsynäytteenottimella. (Pöyry Finland Oy 2011, 3.)

Pohjaveden havaintoputkien asentaminen

Pohjavesiesiintymään asennettavien havaintoputkien avulla voidaan selvittää pohjavedenpinnan korkeusasemaa ja tarkkailla siinä tapahtuvia muutoksia toistuvien mittaus-
ten avulla. Havaintoputkista otettavien vesinäytteiden avulla voidaan tutkia pohjave-
den laatuominaisuuksia. (Arjas 2005, 88.)

Pohjaveden havaintoputkia asennettiin kolmelle pohjavesialueelle: Matinmäki-
Mustikkamäki, Vuokatti ja Riekin-Räätä kangas. Havaintoputket asennettiin pora-
konekairauksena (Geotech 604) suojaputkikalustolla. Putken siiviläosat asennettiin
karkeampien vettä hyvin johtavien kerrosten kohdalle kuitenkin niin että siiviläosa
alkaa 1-2 m pohjavesipinnan yläpuolelta ja ulottuu kallioperän pintakerrokseen saak-
ka. Putkimateriaalina käytettiin tehdasvalmisteista Jenssen-merkkistä PEH-putkea.
Havaintoputket suojattiin teräksisillä suojaputkilla. (Pöyry Finland Oy 2011, 3.)

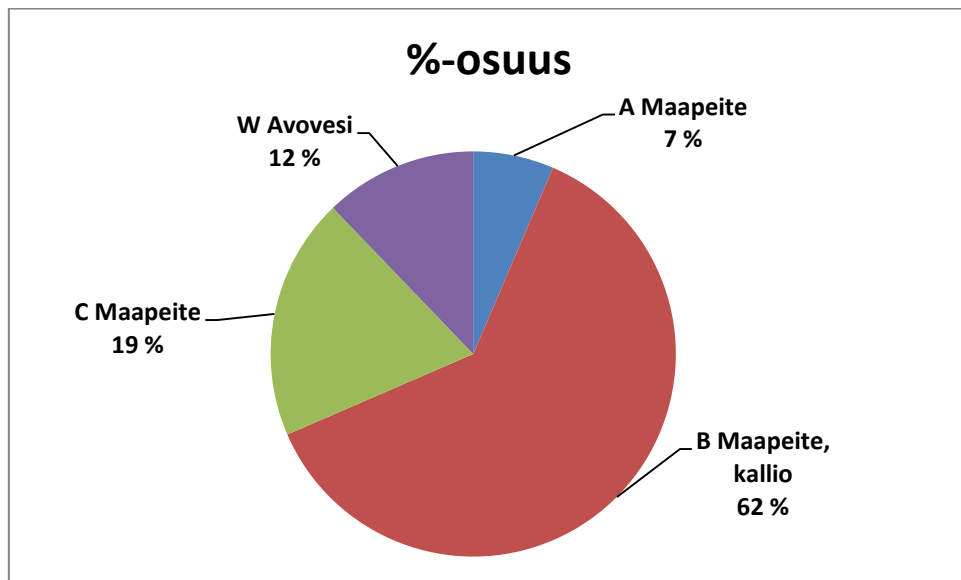
6.4 Paikkatietotyökalun rakentaminen

Esiselvityksen tavoitteena oli selvittää eri vaihtoehtoja olemassa paikkatietoaineisto-
jen hyödyntämiseen ensisijaisesti pelastusviranomaisten, mutta myös muiden toimi-
joiden käyttöön. Esiselvityksessä kartoitettiin kolme vaihtoehtoa paikkatietoaineisto-
jen hyödyntämiseksi. Vaihtoehtoista kaksi ensimmäistä käsittelee aineistojen hyödyn-
tämistä pelkästään pelastusviranomaisten käyttöön ja kolmas vaihtoehto yleistä ratkai-
sua, jolloin aineisto olisi laajemman käyttäjäkunnan hyödynnettävissä. Toteuttamis-
vaihtoehdoksi valittiin Kainuun pelastuslaitoksen käyttöön tulevaan PEKE-
johtamisjärjestelmään luotava uusi ominaisuus, jolla järjestelmään voidaan luoda kart-
tatasoja suoraan paikkatietoaineistoista. Toteutusmalli palvelee pelastuslaitoksia te-
hokkaasti ja varmasti. PEKE-johtamisjärjestelmää ylläpitää hallinnon tietotekniikka-
keskus HALTIK, joka tuottaa sisäasiainministeriön hallinnonalalle sisäisen turvalli-
suuden ja maahanmuuton tarvitsemia tieto- ja viestintätekniisiä palveluita. (Ebsolut Oy
2011, 1 - 5.) Kainuun VAKSU-paikkatietoaineisto muunnettiin PEKE-
johtamisjärjestelmän karttatasoksi.

7 TULOKSET

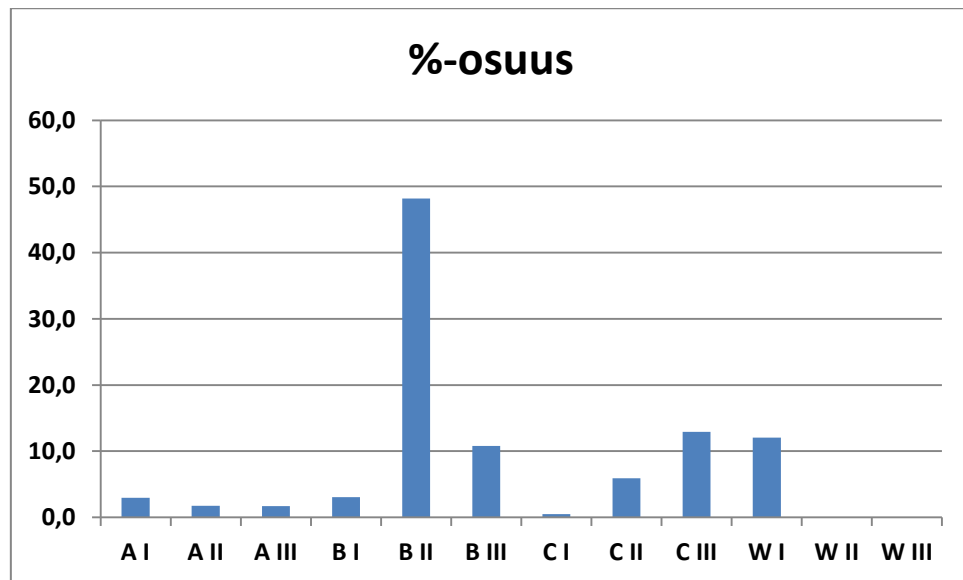
7.1 Kainuun VAKSU-luokitus

Kainuun maakunnan alueella riskiluokiteltiin 870 tiekilometriä. Luokituksessa oli mukana valta-, kanta- ja seututiet numerot 5, 6, 22, 28, 75, 76, 78, 89, 870, 899, 8710, 8740 ja 8714. Riskiluokkaan B, jossa maaperä on puoliläpäisevä, kuului 62 % aineistosta eli noin 540 kilometriä (kuva 9). Luokkaan A, jossa maaperä on hyvin vettä läpäisevä, luokiteltiin noin 55 kilometriä ja luokkaan C, heikosti läpäisevä tai läpäisemätön, noin 167 kilometriä. Avovesi-luokkaan, W, luokiteltiin noin 105 kilometriä.



KUVA 9. Luokiteltujen teiden jakautuminen eri riskiluokkiin.

Suurin osa, 48 % eli noin 415 kilometriä, luokitelluista tieosuuksista luokiteltiin kuuluvaksi B II -riskiluokkaan (kuva 10). B II -luokan maaperä on puoliläpäisevää, jonkin verran adsorboivaa maa-ainesta pohjavesialueella, jossa pohjaveden pinta on yli kymmen metrin syvyydellä.



KUVA 10. Maantiestön jakautuminen eri riskiluokituksen alaluokkiin.

Avovesi-luokan, W, maaperä koostui lähinnä luokan W I-maaperästä, jossa hydrologinen ympäristö koostuu järven-, lasku-uomallisen lammen- ja joen rannasta tai puroista, viettävistä ojista tai niihin viettävät lähialueet.

7.2 Paikkatietotyökalu

Kainuun VAKSU-aineisto on laadittu ArcGIS-muotoon, josta se muunnettiin MapInfo-muotoiseksi. Kainuun VAKSU-aineisto liitettiin osaksi Kainuun pelastuslaitoksen johtamisjärjestelmää kertaluontoisena karttana (kuva 11 ja 12).

8 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Kainuun maakunnassa kaivostoiminta on lisääntynyt viime vuosina merkittävästi, minkä seurauksena maakunnan teillä liikkuu enemmän vaarallisia aineita. Vaarallisten aineiden kuljetusonnettomuuksia tapahtuu Kainuussa keskimäärin alle kymmenen vuodessa. Vaarallisten aineiden käyttäytymistä ympäristössä ohjaavat kemikaalin ja ympäristön ominaisuudet. Kuljetettavien vaarallisten aineiden ominaisuudet tunnetaan, mutta Kainuun maakunnan alueelta on puuttunut tieto tiestön ympäristöolosuhteista. Geologian tutkimuskeskus on tehnyt maaperäkartoitusta mittakaavassa 1:20 000 Kainuun maakunnan alueella 13 karttalehdellä, mikä kattaa murto-osan Kainuun maa-pinta-alasta.

Tässä työssä Kainuun maanteiden lähiympäristön maaperä riskiluokiteltiin 870 km matkalta. Vaarallisten aineiden kuljetusonnettomuuden tapahduttua Kainuun pelastusviranomaisilla on käytössä työssä laadittu vaarallisten aineiden kuljetusten -suunnittelutyökalun (VAKSU) mukainen riskiluokitus, joka edesauttaa oikeiden maaperän ja pohjaveden suojaustoimenpiteiden aloittamisessa. Kainuun VAKSU-aineistossa tarkasteltu ja riskiluokiteltu aineisto parantaa oleellisesti pelastusviranomaisten mahdollisuuksia aloittaa oikeat maaperän suojaustoimet mahdollisen vaarallisten aineiden kuljetusonnettomuuden tapahduttua.

Luokkaan A luokiteltiin noin 55 kilometriä. Luokassa A maaperä on hyvin vettä läpäisevää ja heikosti adsorboivaa, mikä tarkoittaa, että vaarallisten aineiden kuljetusonnettomuuden tapahduttua toimenpiteet, jotka alkavat likaantuneen maan poistolla, ovat erittäin kiireellisiä, sillä pohjaveden pilaantumisen riski on suuri. Luokkaan B luokiteltiin noin 540 km. Luokan B maaperä on puoliläpäisevää, mutta jonkin verran adsorboivaa. Suojaustoimet ovat erittäin kiireellisiä. B-luokassa pohjaveden pilaantumisen riski on merkittävä. Luokkaan C luokiteltiin noin 167 km. Luokan C maaperä on heikosti vettä läpäisevä tai kokonaan vettä läpäisemätön, eivätkä ne sijaitse pohjavesialueilla. Maaperän suojaustoimet, eli likaantuneen maan poisto, on aloitettava ilman tarpeetonta viivytystä. Avovesi-luokkaan, W, luokiteltiin noin 105 km. Suojaustoimenpiteet, kuten patoaminen, ovat vesistön suojaamiseksi erittäin kiireellisiä.

Kainuun VAKSU-aineisto laadittiin tiestölle, jossa oletettiin vaarallisia aineita kuljetettavan. Tarkat tiedot kuljetusten määrästä ja reiteistä puuttuvat, mikä saattaa aiheut-

taa riskiluokituksen puuttumisen potentiaalisesta vaarallisten aineiden kuljetusten onnettomuuskohteesta. Riskiluokitus laadittiin 870 km matkalle Kainuun tiestöä kattaen pääväylät sekä tärkeimmille yksittäisille kohteille, kuten Talvivaaran kaivokselle, johdatavat tiet. Yhteistyön parantaminen vaarallisia aineita kuljettavien tahojen kanssa on tärkeää, jotta kuljetusreitit olisivat pelastus- ja ympäristöviranomaisilla tiedossa.

Vaarallisten aineiden kuljetusonnettomuuden tapahduttua on pelastusviranomaisilla paremmat valmiudet aloittaa oikeat maaperän ja pohjaveden suojaustoimet. Pohjavesialueita tulisi kuitenkin suojata laatimalla pohjavesialueiden suojelusuunnitelmia kaikille tärkeille pohjavesialueille sekä pohjaveden suojausrakenteilla, joilla estetään pohjaveden pilaantuminen.

Työssä laadittu Kainuun VAKSU-aineisto tehtiin vuosituhanteen vaihteessa laaditun Etelä-Suomen VAKSU-aineiston mukaisesti. Riski kohteiden arviointikriteerit ovat samat, joten aineisto voidaan yhdistää aikaisempaan aineistoon.

Aineistossa on epävarmuustekijöitä, jotka liittyvät lähinnä maaperän ominaisuuksiin. Aineiston luokittelu perustuu suurelta osin maaperän yleiskartta-aineistoon, jonka mittakaava on 1:200 000. Maaperän yleiskartassa yksi senttimetri vastaa kahta kilometriä maastossa. Aineistosta aiheutuvaa epävarmuutta pienettiin tekemällä maastohavaintoja noin 1100 pisteestä sekä maatulkuotauksilla ja maaperäkairauksilla. Maaperäkartoituksen mukainen maalajiluokitus perustuu maanpinnalta yhden metrin syvyyteen ulottuvasta näytteestä. Maaperä ei kuitenkaan välttämättä ole muodostunut yhdestä maalajista. Maalajin vaihtuminen syvemmillä maaperässä vaikuttaa vaarallisten aineiden kulkeutumiseen maaperässä.

Pelastusviranomaisille laadittu VAKSU-kartta ei vastaa käyttöliittymältään vaadittua, sillä se on vain karttapohja, jossa on esitetty VAKSU-luokitus. Karttaliittymä peittää pohjakartan eikä näkymässä näy muuta kuin VAKSU-aineisto. Kainuun VAKSU-karttaan ei ole liitetty toimenpideohjeita, jotka ovat erittäin tärkeitä pelastusviranomaisten työssä. VAKSU-aineiston käyttöä parantaisi karttaliittymän muuttaminen piirtotasoksi sekä toimenpideohjeiden liittäminen piirtotasoon.

LÄHTEET

Akkanen Jarkko 2010. Johdatus ekotoksikologiaan. Itä-Suomen yliopisto, Biologian laitos. Luentosarja 25.-26.3.2010.

Arjas Jussi 2005. Kairaukset. Teoksessa Pohjavesitutkimusopas – käytännön ohjeita. Suomen vesiyhdistys r.y. Vammalan Kirjapaino Oy.

Ebsolut Oy 2011. Esiselvitys - Työkalu kemikaaliturvallisuuteen liittyvään riskien arviointiin, Kainuun Etu Oy, 29.4.2011. Ei julkaistu.

ECHA a. Information on Chemicals. WWW-dokumentti.

<http://echa.europa.eu/web/guest/information-on-chemicals>. Ei päivitystietoja. Luettu 11.4.2012.

ECHA b. Registered substances. WWW-dokumentti.

<http://echa.europa.eu/web/guest/information-on-chemicals/registered-substances>. Ei päivitystietoja. Luettu 11.4.2012.

EcologyDictionary. Solubility. WWW-dokumentti.

<http://www.ecologydictionary.org/EPA-Terms-of-Environment-Dictionary/solubility>. Ei päivitystietoja. Luettu 23.2.2011.

Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus 1272/2008. Aineiden ja seosten luokituksista, merkinnöistä ja pakkaamisesta sekä direktiivien 67/548/ETY ja 1999/45/EY muuttamisesta ja kumoamisesta ja asetuksen (EY) N:o 1907/2006 muuttamisesta. Euroopan unionin virallinen lehti, L 353/1. PDF-dokumentti. <http://eur-lex.europa.eu/>. Luettu 29.10.2010.

Gaia 2009. Inter ministerial agreement to enhance environmental considerations in immediate rescue operations through a joint GIS-tool (in Finnish). WWW-dokumentti. <http://www.gaia.fi>. Päivitetty 9.1.2009. Luettu 25.10.2010

Gilbert Ylva, Raivio Tuomas, Kumpulainen Anna, Ahvenharju Sanna, Lonka Harriet, Pathan Alina ja Vanhanen Juha 2009. VASARA - Varsinais-Suomen Alueellisen Riskienhallinnan parantaminen tiedonsiirtoa tehostamalla, Tehokasta yhteistoimintaa alueellisella riskitiedonvaihdolla - Hankkeen loppuraportti. PDF-dokumentti. <http://www.huoltovarmuus.fi>. Luettu 28.10.2010.

Geologian tutkimuskeskus a. Suomen maaperän synty. WWW-dokumentti. <http://www.gsf.fi/aineistot/mp-opas/maapera.htm>. Ei päivitystietoja. Luettu 23.2.2011

Geologian tutkimuskeskus b. Maalajien kuvaus ja soveltuvuus eri käyttötarkoituksiin. WWW-dokumentti. <http://www.gsf.fi/aineistot/mp-opas/kuvausjasoveltuvuus.htm>. Ei päivitystietoja. Luettu 23.2.2011.

Geologian tutkimuskeskus c. Envigrid-projekti, maalajikuvaukset. WWW-dokumentti. <http://www.gsf.fi/otagis/envigrid/maalajit.htm>. Ei päivitystietoja. Luettu 23.2.2011

Häkkinen Anu 2009. Vaarallisten aineiden kuljetukset 2007. Viisivuotisselvitys. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 44. PDF-dokumentti. <http://www.lvm.fi/web/fi/julkaisu/-/view/820624>. Luettu 19.8.2010.

Kainuun ELY 2010. Pohjavedet. WWW-dokumentti. <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=45272#a0>. Päivitetty 7.1.2010. Luettu 19.8.2010.

Kainuun maakunta -kuntayhtymä 2012. Suhdannekehitys Kainuun maakunnassa: Kärkialat liikevaihto. Kirjallinen tiedonanto Jyrki Haataja15.5.2012.

Kainuun ympäristökeskus 2008 a. Kallio- ja maaperä. WWW-dokumentti. <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=8326&lan=FI#a1>. Päivitetty 11.7.2008. Luettu 19.8.2010.

Kainuun ympäristökeskus 2007. Vesiensuojelu. WWW-dokumentti. <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=6337&lan=fi>. Päivitetty 27.11.2007. Luettu 27.9.2011.

Kajaanin Vesi. Veden tuotanto. WWW-dokumentti. <http://www.kajaaninvesi.fi/>. Ei päivytystietoja. Luettu 15.11.2011.

Karjalainen Timo 2010. Kainuun bioenergiaohjelma 2011–2015. Oulun yliopisto, Kajaanin kehittämiskeskus, Aluekehitys, Working Papers 75. PDF-dokumentti. <http://www.kainuu.fi/UserFiles/kylateemaohjelma/File/Kainuun%20bioenergiaohjelma%202011%20-%202015%20raportti.pdf>. Luettu 15.5.2011.

Kopra Sanna 2011. Kainuun ilmastostrategia 2020. Kainuun maakunta -kuntayhtymä 2011, B:26. PDF-dokumentti. http://maakunta.kainuu.fi/general/Uploads_files/Aluekehitys/Ilmastostrategia/Ilmastostrategia_2020_2510_pieni.pdf. Luettu 21.1.2012.

Kovalainen Heikki, Kela Sanna-Maija, Sääksniemi Eerikki ja Vuollo Saija 2000. Kainuun pohjavesivarojen ja harjuainesten luonnonvaraselvitys 1999 - 2000. Alueelliset ympäristöjulkaisut 202. Kainuun ympäristökeskus.

Kuusela-Lahtinen Auli, Mroueh Ulla-Maija, Vahanne Pasi, Kling Terhi, Kapanen Anu, Priha Maarit, Laine Eevaliisa ja Rossi Esko 2010. Ympäristö- ja terveystieteiden arviointimenetelmien vertailu. VTT tiedotteita – Research Notes 2551.

Laine Yki 2009. Kirjallinen tiedonanto 14.10.2009. Yki Laine, Suomen ympäristökeskus, Geoinformatiikka- ja alueidenkäyttöyksikkö.

Laitinen, Risto ja Toivonen, Jukka 1990. Yleinen ja epäorgaaninen kemia. 5. painos. Hämeenlinna, Karisto Oy.

Laki vaarallisten aineiden kuljetuksesta 1994. Nro 719/1994. Sähköinen säädöskokoelma. WWW-dokumentti. <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1994/19940719>. Ei päivytystietoja. Luettu 10.10.2011.

Leinonen Riitta 2009. Kemikaalien ympäristövaikutusten arvioinnin peruskäsitteitä. SYKE. PDF-dokumentti. <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=102840&lan=fi>. Luettu 20.2.2011.

Liikenne- ja viestintäministeriö 2006. VAK-strategia 2006 - 2015 – Vaarallisten aineiden kuljetus Suomessa. Ohjelmia ja strategioita 2/2006. PDF-dokumentti.
<http://www.mintc.fi/ohjelmiajstrategioita>. Luettu 25.10.2010

Liikenne- ja viestintäministeriön asetus vaarallisten aineiden kuljetuksesta tiellä 369/2011. Finlex. WWW-dokumentti.
<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2011/20110369>. Luettu 10.6.2012.

Liikenteen turvallisuusvirasto a. ADR. WWW-dokumentti.
<http://www.ake.fi/AKE/Ammattiliikenne/ADR/>. Ei päivitystietoja. Luettu 20.10.2010.

Liikenteen turvallisuusvirasto b. Turvallisuusneuvonantaja. WWW-dokumentti.
<http://www.ake.fi/AKE/Ammattiliikenne/Turvallisuusneuvonantaja>. Ei päivitystietoja. Luettu 20.10.2010.

Martio Johanna 2011. Pohjavesitilanteen tarkastelu alikulkusiltapaikoilla. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 13/2011. PDF-dokumentti.
http://alk.tiehallinto.fi/julkaisut/pdf3/lts_2011-13_pohjavesitilanteen_tarkastelu_web.pdf. Luettu 21.9.2011.

Moilanen Elli 2011. Pohjavesialueen suojelusuunnitelma - Matinmäki-Mustikkamäki. Kainuun elinkeino-, liikenne ja ympäristökeskuksen julkaisuja. Kopijyvä Oy, Kuopio.

Neste Oil Oyj 2010. Käyttöturvallisuustiedote. Moottoribensiini 95R, 98, rikitön, kesälaatu, talvilaatu, bio; Neste-bensiini 95, 98 (BE95R, BE98R, BE98RB). PDF-dokumentti. http://www.neste.fi/doc/ktt/13866_fin.pdf. Luettu 28.4.2010.

Ney Ronald 1990. Where Did that Chemical Go? A Practical Guide to Chemical Fate and Transport in the Environment. Van Nostrand Reinhold, New York.

OECD. The Global Portal to Information on Chemical Substances. WWW-dokumentti.
http://www.echemportal.org/echemportal/index?pageID=0&request_locale=en. Ei päivitystietoja. Luettu 11.4.2012.

OECD 2000. Guidance document on aquatic toxicity testing of difficult substances and mixtures. OECD series on testing and assessment Number 23. Environment directorate, joint meeting of the chemicals committee and the working party on chemicals, pesticides and biotechnology. PDF-dokumentti. http://www.epa.gov/endo/pubs/ref-2_oecd_gd23_difficult_substances.pdf. Luettu 15.4.2012

Pfannkuch H.O. ja Paulson Rick. Grain Size Distribution and Hydraulic Properties. New Jersey City University. WWW-dokumentti. http://faculty.njcu.edu/wmontgomery/Coastal_Zone/Grain%20Size%20Distribution.htm. Ei päivitystietoja. Luettu 27.7.2011.

Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskus ja Kainuun ympäristökeskus 2009. Oulujoen - Iijoen vesienhoitoalueen vesienhoitosuunnitelma vuoteen 2015, Yhteistyöllä parempaan vesienhoitoon. Vammalan Kirjapaino Oy.

Pollari Risto 2011. Maatutkaluotaus Kainuussa Sotkamon, Ristijärven ja Vaalan alueilla 26–27.9.2011. Tutkimusraportti 05.10.2011. Geo-Work Oy. Ei julkaistu.

PRONTO, 2011. Pelastustoimen resurssi- ja onnettomuustilasto. WWW-dokumentti. <https://prontonet.fi/Pronto3/online1/OnlineTilastot.htm#>. Päivitetty 10.10.2011. Luettu 10.10.2011.

Pöyry Finland Oy 2011. Tarjous maaperäkairauksista ja putkien asennuksesta 10.10.2011. PDF-dokumentti. Ei julkaistu.

Riihimäki Vesa, Isotalo Leena, Jauhiainen Merja, Kemiläinen Birgit, Laamanen Ira, Luotamo Marita, Riala Riitta ja Zitting Antti 2005. Kemikaaliturvallisuuden tiedonlähteet. Työterveyslaitos. Edita Prima Oy, Helsinki.

Royal Society of Chemistry 2008. Environmental Risk Assessment. Environment, Health and Safety Committee. PDF-dokumentti. http://www.rsc.org/images/Environmental_Risk_Assessment_tcm18-122341.pdf. Luettu 23.2.2011.

ST1 2002. Käyttöturvallisuustiedote. Kevyt Polttoöljy, kesä- ja talvilaatu. PDF-dokumentti. <http://www.st1.fi/KTTPOK.pdf>. Päivitetty 31.12.2002. Luettu 28.4.2010.

Suomen ympäristökeskus 2010. Pohjavesimallinnuksessa tarvittavat lähtötiedot. WWW-dokumentti. <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=197253>. Päivitetty 18.5.2010. Luettu 21.9.2011.

Suomen ympäristökeskus 2009. Vaarallisten kemikaalien luokitusperusteet - yleiset vaatimukset. WWW-dokumentti.

<http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=1958&lan=fi>. Päivitetty 25.9.2009. Luettu 27.10.2010.

Suomen ympäristökeskus 2006. Sanasto (Pilaantuneen maa-alueen ekotehokkaan kunnostamisen tukijärjestelmä). WWW-dokumentti.

<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=185952>. 11.10.2006. Luettu 27.11.2010.

Suomen ympäristökeskus ja Valvira 2010. Yleistä luokituksesta ja merkinnöistä.

WWW-dokumentti. <http://www.reachneuvonta.fi/>. Päivitetty 4.2.2010. Luettu 29.10.2010.

Suomen ympäristöopisto SYKLI 2007. Kenttäopas tiekuljetusöljyvahingon hallintaan, II tausta-aineisto. 5.4.2007. PDF-dokumentti. <http://www.sykli.fi>. Luettu 8.10.2011.

Takahashi Kazunori, Preetz Holger ja Igel Jan 2011. Soil properties and performance of landmine detection by metal detector and ground-penetrating radar - Soil characterisation and its verification by a field test. *Journal of Applied Geophysics* 73 (2011) 368–377.

Tiehallinto 2004. Rakenteen parantamissuunnittelua edeltävät maatulkatutkimukset ja tulosten esitystapa – menetelmäkuvaus. PDF-dokumentti.

<http://alk.tiehallinto.fi/thohje/pdf/2100027-v-04rakentparantamissuunn.pdf>. Päivitetty 3.11.2004. Luettu 20.9.2011.

Tilastokeskus 2010. Kuorma-autoliikenteen suoritteet kotimaan liikenteessä NST 2007 -tavararyhmittäin vuonna 2009. WWW-dokumentti. http://www.stat.fi/til/kttav/2009/kttav_2009_2010-05-28_tau_011_fi.html. Päivitetty 28.5.2010. Luettu 29.10.2010.

UNECE. The United Nations Economic Commission for Europe. Dangerous Goods. WWW-dokumentti. <http://www.unece.org/trans/danger/danger.htm>. Ei päivitystietoja. Luettu 17.7.2010.

U.S. Environmental Protection Agency 2011. Risk Assessment, Basic Information. WWW-dokumentti. <http://www.epa.gov/risk/basicinformation.htm#risk>. Päivitetty 10.5.2011. Luettu 22.9.2011.

U.S. Environmental Protection Agency. Environmental Fate Summary. PDF-dokumentti. <http://www.epa.gov/dfe/pubs/tools/ctsa/ch5/mod5-3.pdf>. Luettu 19.8.2010.

Valtioneuvoston asetus vaarallisten aineiden maakuljetusten turvallisuusneuvonantajasta (274/2002). WWW-dokumentti. <http://www.finlex.fi>. Ei päivitystietoja. Luettu 15.9.2010.

Valtioneuvoston asetus vaarallisten aineiden kuljetuksesta tiellä (194/2002). WWW-dokumentti. <http://www.finlex.fi>. Ei päivitystietoja. Luettu 15.8.2010.

Väänänen Tapio 2010a. Työkalu kemikaaliturvallisuuteen liittyvään riskinarviointiin -hankkeeseen liittyvät maaperän alustavat luokittelutyöt. Geologian tutkimuskeskus, Itä-Suomen yksikkö. Tutkimusraportti 2. PDF-dokumentti. Ei julkaistu. Päivitetty 26.2.2010.

Väänänen Tapio 2010b. Työkalu kemikaaliturvallisuuteen liittyvään riskinarviointiin -hankkeeseen liittyvät maaperän kartoitustyöt. Geologian tutkimuskeskus, Itä-Suomen yksikkö. Tutkimusraportti 8. PDF-dokumentti. Päivitetty 27.10.2010. Ei julkaistu.

Ympäristötiedon hallintajärjestelmä Hertta. OIVA - Ympäristö- ja paikkatietopalvelussa. <http://wwwp2.ymparisto.fi/scripts/palvelut.asp>. Ei päivitystietoja. Luettu 10.10.2011.

Zhang Jiang-hua ja Zhao Lai-jun 2007. Risk Analysis of Dangerous Chemicals Transportation. Systems Engineering - Theory & Practice Volume 27, Issue 12, 2007 117-122. Online English edition of the Chinese language journal.